



การลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติของเตาอบเหล็กกรีตร้อนระหว่างช่วงการอุ่นเตาเพื่อ
เปลี่ยนลูกรีดโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง



โดย
นางสาวกุลธิดา สุขสมบูรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติของเตาอบเหล็กรีดร้อนระหว่างช่วงการอุ่น
เตาเพื่อเปลี่ยนลูกรีดโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

REDUCTION OF NATURAL GAS FUEL CONSUMPTION OF REHEATING FURNACE
DURING THE PREHEATING STAGE TO STAND CHANGE BY APPLYING DESIGN
OF EXPERIMENT



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Engineering (ENGINEERING MANAGEMENT)
Department of INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2019
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ การลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติของเตาอบเหล็กกรี๊ด
รื้อนระหว่างช่วงการอุ่นเตาเพื่อเปลี่ยนลูกรีดโดยการประยุกต์ใช้
การออกแบบการทดลอง

โดย กุลธิดา สุขสมบุรณ์

สาขาวิชา การจัดการงานวิศวกรรม แผนก ก แบบ ก 2 ปริญญาโทมหาบัณฑิต

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คณิศ พันธุ์สวัสดิ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

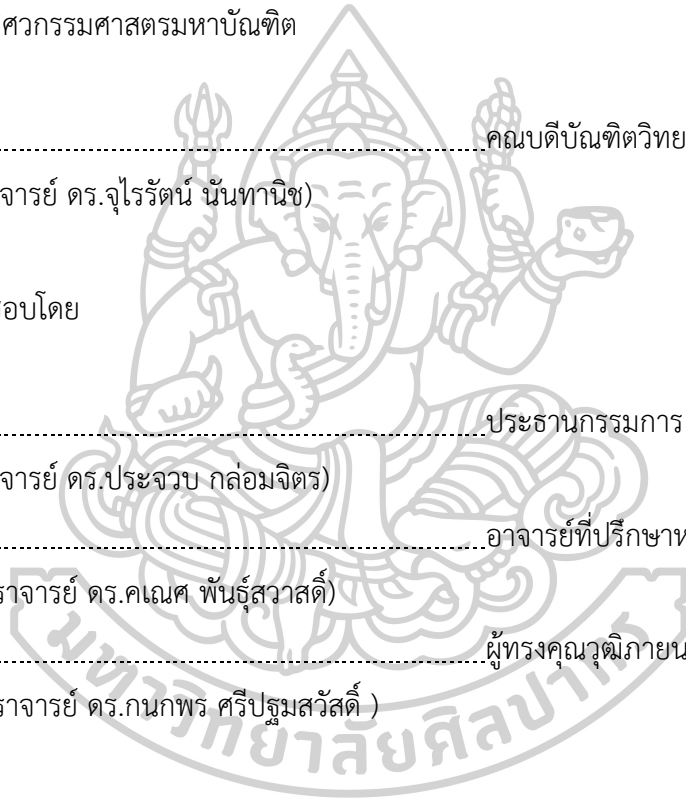
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิศ พันธุ์สวัสดิ์)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์)



59405312 : การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต

คำสำคัญ : เตาอบเหล็ก, ก๊าซธรรมชาติ, เปลี่ยนลูกรีด, หลักการออกแบบการทดลองเชิงแพททอเรียล

นางสาว กุลธิดา สุขสมบุญธรรม: การลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติของเตาอบเหล็กที่ร้อนระหว่างช่วงการอุ่นเตาเพื่อเปลี่ยนลูกรีดโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คณศ พันธุ์สวาสดี

ปัจจุบันบริษัทต้องมีต้นทุนค่าใช้จ่ายก๊าซธรรมชาติในการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด ซึ่งมีค่าใช้จ่ายจำนวนมากในแต่ละเดือน ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการศึกษาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงปัจจัยและระดับของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด ซึ่งระดับของปัจจัยที่ได้จะนำไปใช้ในการปรับตั้งค่าการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กให้มีความเหมาะสมเพื่อช่วยลดต้นทุนที่ต้องสูญเสียไปในกระบวนการผลิตให้ลดลง การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้ใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนผังสาเหตุและผล เพื่อค้นหาปัญหาและสาเหตุของปัญหาด้านต้นทุนค่าใช้จ่ายของการใช้ก๊าซธรรมชาติที่ต้องสูญเสียไปซึ่งจากการวิเคราะห์แผนผังสาเหตุและผล สรุปได้ว่าปัจจัยที่สามารถควบคุมได้และมีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้ก๊าซในการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด ประกอบด้วย อุณหภูมิ (Temp), อัตราส่วนอากาศ : ก๊าซ (Ratio) และแรงดัน (Pressure) ภายในเตาอบเหล็ก ซึ่งปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยที่ใช้ในการปรับตั้งค่าในการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็ก ผู้วิจัยได้ใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิงแพททอเรียล 3^k ในการออกแบบการทดลอง โดยกำหนดวิธีการทดลองแบ่งออกเป็น 27 สภาวะการทดลอง การทดลองละ 3 ชั่วโมงทั้งสิ้น 81 การทดลอง และทำการแปรผันค่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ อัตราส่วนอากาศ : ก๊าซ และความดันภายในเตาอบเหล็กแบ่งออกเป็น 3 ระดับ จากนั้นทำการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าระดับปัจจัยในการปรับตั้งค่าการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ $1,000^{\circ}\text{C}$ อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ 1.05 และความดัน 2.7 บาร์ โดยเมื่อนำผลจากการวิจัยมาทำการปรับใช้กับกระบวนการผลิตจริงในโรงงานและติดตามเก็บข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน (มกราคม-พฤษภาคม) เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุงพบว่าก่อนปรับปรุงมีค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีดเฉลี่ยต่อครั้งคิดเป็นเงิน 12,098.34 บาท หลังการปรับปรุงพบว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดจากปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติเฉลี่ยต่อครั้งคิดเป็นเงิน 10,442.42 บาท ลดลงจากเดิม 1,655.92 บาท/ครั้ง ซึ่งเมื่อคิดเป็นอัตราต้นทุนที่ต้องสูญเสียสามารถลดลงได้เท่ากับร้อยละ 13.68

59405312 : Major (ENGINEERING MANAGEMENT)

Keyword : reheating furnace, natural gas, stand change, design of experiment (DOE)

MISS KUNTIDA SUKSOMBOON : REDUCTION OF NATURAL GAS FUEL CONSUMPTION OF REHEATING FURNACE DURING THE PREHEATING STAGE TO STAND CHANGE BY APPLYING DESIGN OF EXPERIMENT THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR KANATE PANSAWAT, Ph.D.

At present, the company must have the production cost of natural gas consumption in the preheating process of the reheating steel furnace during the stand change stage, which has a lot of cost each month. Therefore, the researcher has conducted the study with the objective by studying the factor and level of factor that influence natural gas fuel consumption in the preheating process of the reheating steel furnace during the stand change stage. The level of factors could be used to adjust the control settings of the reheating steel furnace to be appropriated in order to reduce the costs that have been lost in the production process. This research study has been used tools to analyze problems by using cause and effect analysis in order to find the problems and causes of the cost problems of natural gas fuel consumption that have been lost. From the result of cause and effect analysis, it could be concluded that the factors which could be controlled and influenced the amount of natural gas fuel consumption used in preheating process of the reheating steel furnace during the stand change stage were consist of temperature, ratio of air and gas and pressure in the reheating furnace. These factors have been used to adjust control settings of the reheating steel furnace. The researcher has been used 3^k factorial experimental design principles in experimental design by determining the method of experiment divided into 27 conditions. Each of experiment was repeated in 3 times, total 81 experiments and varied all 3 factors in 3 levels. The experiment was collected data and analyzed in statistical results. The results of the experiment showed that the appropriated setting factors for controlling the steel furnace were temperature at 1,000°C, ratio of air and gas at 1.05 and pressure at 2.7 bar. For using the results of this experiment to apply in the real production processes and keep track of data in the same period (January-May) in order to compare the data before and after of the improvement. The result found that before the improvement, there were costs arising from the consumption of natural gas fuel in the preheating process of the reheating steel furnace during the stand change stage in the amount of 12,098.34 baht/time. After the improvement, the result found that the costs were incurred from the consumption of natural gas fuel accounted for 10,442.42 baht/time which decreased to 1,655.92 baht/time and discount rate of costs was reduced up to 13.68 percent.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุน และความกรุณาจากผู้มีพระคุณที่เสียสละเวลา เพื่อให้คำปรึกษา และข้อเสนอแนะที่มีคุณค่าเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยอย่างยิ่งทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วง ด้วยความถูกต้องสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณศ พันธ์สุวาสดี อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้สละเวลาอันมีค่าเพื่อเป็นที่ปรึกษาในการจัดทำงานวิจัยช่วยให้คำแนะนำ แก้ไข ปรับปรุง และให้ความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ตลอดเวลาตั้งแต่ต้นจนงานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์ กรรมการสอบ ที่ได้ให้ความกรุณาในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของงานวิจัย รวมทั้งสละเวลาในการเป็นกรรมการสอบในครั้งนี้ ขอขอบคุณผู้ให้ข้อมูลทุกท่านที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการผลิตการรีดเหล็กร้อนซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในการจัดทำงานวิจัยฉบับนี้ หากงานวิจัยฉบับนี้ก่อให้เกิดประโยชน์และมีคุณค่าในการศึกษาวิจัยแก่ผู้ใดหรือหน่วยงานใดๆ ผู้วิจัยขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณอันยิ่งใหญ่ของบิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ตลอดจนขอมอบแด่ผู้ที่ให้ความรัก ใฝ่กำลังใจ ให้ความหวังใย และให้การสนับสนุนเป็นอย่างดีมาโดยตลอดจนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอให้งานวิจัยนี้ได้เป็นประโยชน์ในการเป็นข้อมูลและเป็นแนวทางสำหรับผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับกระบวนการผลิตการรีดเหล็กร้อนในการปรับปรุงกระบวนการผลิต และลดค่าใช้จ่ายในการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพตลอดจนจะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจจะศึกษาค้นคว้าต่อไป

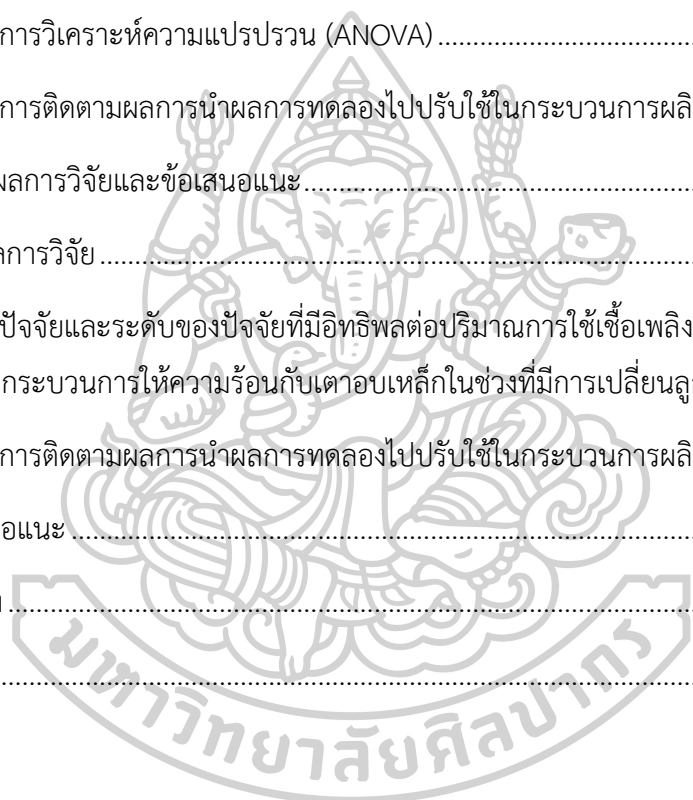
กุลธิดา สุขสมบูรณ์

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญภาพ..... | ฎ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย..... | 4 |
| 1.3 สมมติฐานการวิจัย..... | 4 |
| 1.4 ขอบเขตการวิจัย..... | 4 |
| 1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ..... | 4 |
| 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 5 |
| 1.7 แผนการดำเนินงาน..... | 5 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 6 |
| 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... | 6 |
| 2.1.1 ความหมายของคุณภาพ..... | 6 |
| 2.1.2 ความเป็นมาของการควบคุมคุณภาพ..... | 7 |
| 2.1.3 เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 แบบ (QC 7 Tools)..... | 8 |
| 2.1.4 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)..... | 15 |
| 2.1.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA)..... | 33 |

| | | |
|---------|--|----|
| 2.1.6 | เตาอุตสาหกรรม | 47 |
| 2.1.7 | สภาวะการทำงานของเตาเผาเหล็ก | 51 |
| 2.1.8 | การแบ่งพื้นที่การทำงานภายในเตาอบเหล็ก | 52 |
| 2.1.9 | ส่วนควบคุมการทำงานเตาเผา | 52 |
| 2.2 | งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 53 |
| 2.2.1 | งานวิจัยในประเทศ | 53 |
| 2.2.2 | งานวิจัยต่างประเทศ | 55 |
| บทที่ 3 | วิธีดำเนินการวิจัย | 58 |
| 3.1 | ศึกษาสภาพปัจจุบัน | 60 |
| 3.1.1 | ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา | 60 |
| 3.1.2 | กลุ่มผลิตภัณฑ์ของโรงงาน | 60 |
| 3.1.3 | กระบวนการผลิตและกระบวนการเปลี่ยนลูกรีด (Stand Change)..... | 60 |
| 3.2 | ศึกษาปัญหาความสูญเสียและแนวทางการแก้ไขปัญหา..... | 61 |
| 3.2.1 | ศึกษาวิเคราะห์สภาพปัญหา ก่อนการปรับปรุงและเก็บรวบรวมข้อมูล | 61 |
| 3.2.2 | วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา..... | 63 |
| 3.3 | กำหนดปัจจัย..... | 65 |
| 3.4 | ออกแบบการทดลองและกำหนดวิธีการทดลอง..... | 67 |
| 3.4.1 | ออกแบบการทดลอง..... | 67 |
| 3.4.2 | กำหนดวิธีการทดลอง | 71 |
| 3.5 | ทดลองและบันทึกผลการทดลอง..... | 76 |
| 3.6 | วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา | 76 |
| 3.6.1 | วิเคราะห์และประเมินผลการทดลองตามการออกแบบการทดลอง..... | 76 |
| 3.6.2 | วิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ | 76 |
| 3.6.3 | ติดตามผลการนำผลการทดลองไปปรับใช้ในกระบวนการผลิต..... | 78 |

| | |
|---|----|
| 3.6.4 สรุปผลการศึกษา..... | 78 |
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ | 79 |
| 4.1 ผลการทดลองแบบ 3-Level Full Factorial Design (3 ^k)..... | 79 |
| 4.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab | 82 |
| 4.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบทดลอง..... | 82 |
| 4.2.2 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ..... | 84 |
| 4.2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) | 84 |
| 4.2.4 การติดตามผลการนำผลการทดลองไปปรับใช้ในกระบวนการผลิต..... | 86 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... | 89 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย..... | 89 |
| 5.1.1 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ ใน กระบวนการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด | 89 |
| 5.1.2 การติดตามผลการนำผลการทดลองไปปรับใช้ในกระบวนการผลิต..... | 89 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 90 |
| รายการอ้างอิง..... | 91 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 96 |



สารบัญตาราง

หน้า

| | |
|---|----|
| ตารางที่ 1.1 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กของ บริษัทผลิตเหล็กรีดร้อนแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง (ข้อมูลระหว่างปี 2556-2560)..... | 1 |
| ตารางที่ 1.2 ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในการควบคุมอุณหภูมิเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการเปลี่ยน ลูก รีด | 3 |
| ตารางที่ 2.1 ผลการตัดสินใจจากการทดสอบสมมติฐาน | 21 |
| ตารางที่ 2.2 รูปแบบของการออกแบบการทดลองที่นิยมใช้..... | 26 |
| ตารางที่ 2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองที่มี 2 ปัจจัย..... | 30 |
| ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบ 2 ^k แฟคทอเรียล | 31 |
| ตารางที่ 2.5 ลักษณะของตารางข้อมูล..... | 40 |
| ตารางที่ 2.6 ลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว | 40 |
| ตารางที่ 2.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance Table)..... | 42 |
| ตารางที่ 2.8 ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง | 43 |
| ตารางที่ 2.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) | 45 |
| ตารางที่ 2.10 ข้อมูลยอดขายขนม..... | 46 |
| ตารางที่ 2.11 ประเภทเตาเผาอุตสาหกรรมแบ่งตามลักษณะการใช้งานหรือกิจการ..... | 49 |
| ตารางที่ 2.12 อุณหภูมิทำงานของเตาอุตสาหกรรม..... | 50 |
| ตารางที่ 3.1 ข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติสำหรับการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กในช่วงที่มี การเปลี่ยนลูกรีด (มกราคม – ธันวาคม ปี 2560) | 63 |
| ตารางที่ 3.2 การพิจารณาความเป็นไปได้ของการกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง | 66 |
| ตารางที่ 3.3 การปรับตั้งค่าปัจจัยในการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด แบบเดิม | 67 |
| ตารางที่ 3.4 รูปแบบของการออกแบบการทดลองที่นิยมใช้..... | 68 |

ตารางที่ 3.5 การกำหนดปัจจัยควบคุมและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง 70

ตารางที่ 3.6 ค่าของปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง (Run)..... 70

ตารางที่ 3.7 การสุ่มลำดับก่อนหลังการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 16..... 73

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองแบบ 3-Level Full Factorial Design (3^k) 80

ตารางที่ 4.2 ผลของระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง 81

ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการปรับเปลี่ยนปัจจัยและระดับของปัจจัย..... 87



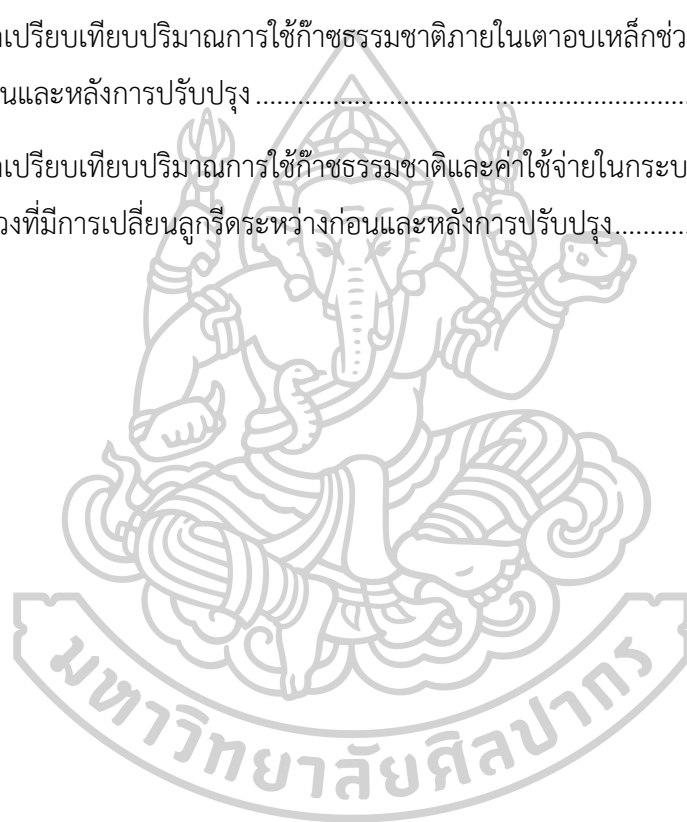
สารบัญภาพ

หน้า

| | |
|--|----|
| ภาพที่ 1.1 ต้นทุนการใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการรีดเหล็กร้อนของบริษัทแห่งหนึ่ง ในจังหวัด ระยอง ย้อนหลัง 5 ปี (ปี 2556-2560) | 2 |
| ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างแผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) | 9 |
| ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของผังก้างปลา | 10 |
| ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างผังการกระจาย (Scatter Diagram) | 11 |
| ภาพที่ 2.4 ฮิสโตแกรม (Histogram) | 12 |
| ภาพที่ 2.5 กราฟแสดงความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบปกติ | 13 |
| ภาพที่ 2.6 การเกาะกลุ่มที่มีจุดพิค้อย่างน้อย 7 จุดปรากฏติดต่อกันอยู่ด้านใดด้านหนึ่ง ของแผนภูมิ | 13 |
| ภาพที่ 2.7 การเกาะกลุ่มที่มีจุดพิค้อย่างน้อย 14 จุด ขึ้นและลงเป็นแบบแผนอย่างต่อเนื่องซ้ำกัน. 14 | 14 |
| ภาพที่ 2.8 การเกาะกลุ่มที่มีจุดพิค้อย่างน้อย 4 ใน 5 จุด ที่อยู่ต่อเนื่องกันใกล้ | 14 |
| ภาพที่ 2.9 ลักษณะของแผนภูมิแบบเกิดแนวโน้ม | 15 |
| ภาพที่ 2.10 ลักษณะของแผนภูมิแบบเกิดวัฏจักร | 15 |
| ภาพที่ 2.11 กระบวนการออกแบบการทดลอง | 17 |
| ภาพที่ 2.12 บริเวณวิกฤตของการทดสอบจะอยู่ด้านขวาและมีค่าเป็นบวก | 22 |
| ภาพที่ 2.13 บริเวณวิกฤตของการทดสอบจะอยู่ด้านขวาและมีค่าเป็นบวก | 23 |
| ภาพที่ 2.14 บริเวณวิกฤตของการทดสอบจะอยู่ด้านซ้ายและขวามีค่าเป็นได้ทั้งบวกและลบ | 23 |
| ภาพที่ 2.15 แผนผังขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง | 26 |
| ภาพที่ 2.16 ปฏิสัมพันธ์ของ AB ไม่มีเกิดขึ้น | 28 |
| ภาพที่ 2.17 ปฏิสัมพันธ์ของ AB มีเกิดขึ้นซึ่งเกิดจากขนาดของการตอบสนองต่างกัน เมื่อเปลี่ยนระดับ ของอีกปัจจัยหนึ่ง | 28 |
| ภาพที่ 2.18 ปฏิสัมพันธ์ของ AB มีเกิดขึ้นซึ่งเกิดจากความแตกต่างในทิศทางของการตอบสนอง | 28 |

| | |
|---|----|
| ภาพที่ 2.19 การออกแบบเชิงแพคทอเรียล 2 ปีจ้ย | 29 |
| ภาพที่ 2.20 รูปแบบของการออกแบบเชิงแพคทอเรียล | 29 |
| ภาพที่ 2.21 ลักษณะเส้นโค้งของการแจกแจงแบบปกติ..... | 37 |
| ภาพที่ 2.22 ลักษณะเส้นโค้งของการแจกแจงแบบปกติ เมื่อค่าเฉลี่ยเท่ากัน แต่ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐานต่างกัน | 38 |
| ภาพที่ 2.23 ลักษณะเส้นโค้งของการแจกแจงแบบปกติ เมื่อค่าเฉลี่ยไม่เท่ากัน แต่ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐานเท่ากัน..... | 38 |
| ภาพที่ 2.24 ลักษณะเส้นโค้งของการแจกแจงแบบปกติ เมื่อค่าเฉลี่ยไม่เท่ากัน และส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐานไม่เท่ากัน..... | 39 |
| ภาพที่ 2.25 ประเภทของเตาอุตสาหกรรม | 48 |
| ภาพที่ 2.26 องค์ประกอบของเตาเผา..... | 50 |
| ภาพที่ 2.27 การใช้พลังงานของเตาอบเหล็กซึ่งมีประสิทธิภาพร้อยละ 20-25 | 51 |
| ภาพที่ 2.28 ระบบควบคุมการทำงานในเตาเผา..... | 53 |
| ภาพที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินวิจัย | 59 |
| ภาพที่ 3.2 ขอบเขตการทำงานของกระบวนการเปลี่ยนลูกรีด ในกระบวนการผลิตเหล็กรีดร้อน..... | 60 |
| ภาพที่ 3.3 แผนผังขั้นตอนการเปลี่ยนลูกรีดก่อนการปรับปรุง | 61 |
| ภาพที่ 3.4 การควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีดก่อนการปรับปรุง | 62 |
| ภาพที่ 3.5 แผนผังสาเหตุและผลของปัญหาต้นทุนค่าใช้จ่ายของการใช้ก๊าซธรรมชาติ ช่วงที่มีการ เปลี่ยนลูกรีด..... | 64 |
| ภาพที่ 3.6 แผนผังสาเหตุและผลของปัจจัยที่สามารถควบคุมได้และส่งผลกระทบต่อปริมาณ การใช้ก๊าซในกระบวนการผลิตช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด | 66 |
| ภาพที่ 3.7 ขนาดเตาอบเหล็ก..... | 72 |
| ภาพที่ 3.8 เตาอบเหล็กที่ใช้ทำการศึกษา..... | 72 |
| ภาพที่ 3.9 การควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด | 75 |
| ภาพที่ 3.10 แผนผังขั้นตอนการทดลอง..... | 76 |

| | |
|--|----|
| ภาพที่ 4.1 Residual Plots ของค่าผลตอบสนอง (ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ)..... | 83 |
| ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงข้อมูลเป็น Normal distribution โดยโปรแกรม Minitab Release 16..... | 83 |
| ภาพที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบแฟกทอเรียล | 84 |
| ภาพที่ 4.4 การวิเคราะห์ Main Effects Plot ที่ส่งผลต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ | 85 |
| ภาพที่ 4.5 การวิเคราะห์ Interaction Plot อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อ ปริมาณการใช้ก๊าซ ธรรมชาติ..... | 86 |
| ภาพที่ 4.6 ผลเปรียบเทียบปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติภายในเตาอบเหล็กช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด เฉลี่ย/ครั้ง ก่อนและหลังการปรับปรุง | 88 |
| ภาพที่ 4.7 ผลเปรียบเทียบปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติและค่าใช้จ่ายในกระบวนการให้ความร้อน กับ เตาอบเหล็กช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีดระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุง..... | 88 |



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

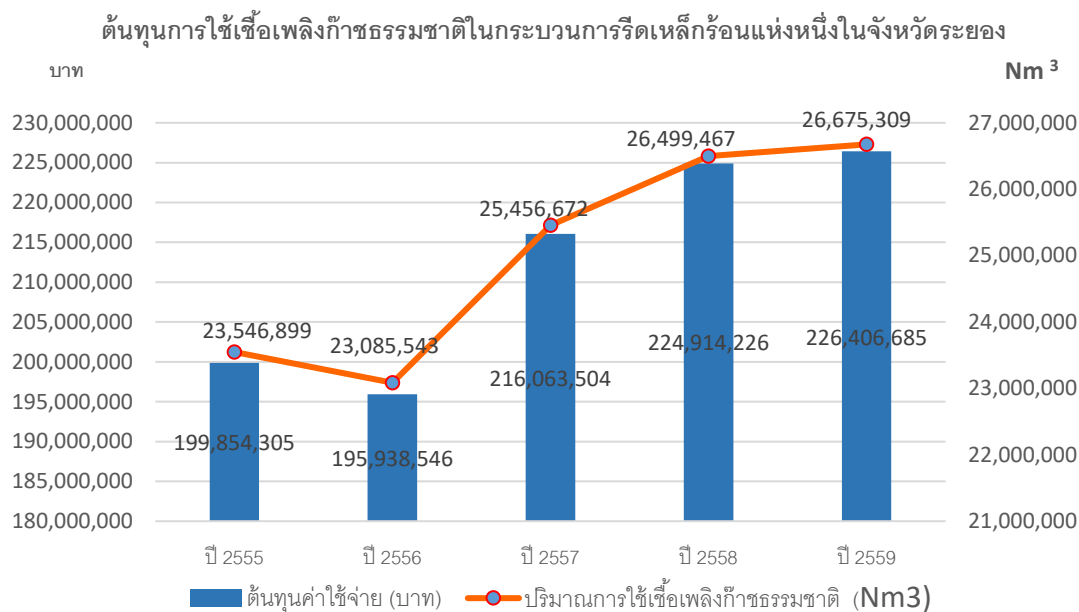
ปัจจุบันอุตสาหกรรมเหล็กจัดเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศเนื่องจากการใช้เหล็กเป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมพื้นฐานต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ และอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น ในส่วนของมุมมองทางด้านพลังงานกระบวนการผลิตเหล็กถือได้ว่าเป็นกระบวนการที่มีการใช้ปริมาณพลังงานค่อนข้างมาก และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มระดับการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตามการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ต้นทุนด้านพลังงาน โดยเฉพาะเชื้อเพลิงประเภทก๊าซธรรมชาติถือเป็นต้นทุนที่สำคัญอย่างหนึ่งของอุตสาหกรรมเหล็กมีค่าเฉลี่ยประมาณร้อยละ 15-30 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด (มีชชุติกา คอนเมฆ, สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ, & ณัฐเดช เพ็ญวรวงศ์, 2555) ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการนำก๊าซธรรมชาติมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนกับกระบวนการอบเหล็ก จึงนับได้ว่าต้นทุนด้านพลังงานในธุรกิจประเภทนี้ถือว่ามีส่วนสำคัญต่อต้นทุนการผลิตเป็นอย่างมาก

เช่นเดียวกันกับบริษัทอุตสาหกรรมผลิตเหล็กที่ร้อนแห่งหนึ่งในจังหวัดระยองที่ประสบปัญหาต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี (ดังภาพที่ 1.1) ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้มาจากการรวบรวมข้อมูลย้อนหลัง 5 ปี (ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 1.1) ที่แสดงถึงสถิติปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในการให้ความร้อนกับกระบวนการอบเหล็ก โดยต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานดังกล่าวได้กลายเป็นส่วนหนึ่งของต้นทุนค่าใช้จ่ายที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนขององค์กรเพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กของ

บริษัทผลิตเหล็กที่ร้อนแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง (ข้อมูลระหว่างปี 2556-2560)

| ข้อมูล | | ช่วงปี | | | | |
|--|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | ปี 2556 | ปี 2557 | ปี 2558 | ปี 2559 | ปี 2560 |
| ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ก๊าซธรรมชาติ | (Nm ³) | 25,456,672 | 25,534,576 | 26,237,096 | 26,499,467 | 26,675,309 |
| เทียบเป็นตัน | (Tons) | 17,285.08 | 17,337.97 | 17,814.๑98 | 17,993.13 | 18,112.53 |
| ต้นทุนค่าใช้จ่าย | (บาท) | 216,063,504 | 216,724,714 | 222,687,352 | 224,914,226 | 226,406,685 |



ภาพที่ 1.1 ต้นทุนการใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการรีดเหล็กก้อนแห้งของบริษัทแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง ย้อนหลัง 5 ปี (ปี 2556-2560)

อย่างไรก็ตามหนึ่งในขั้นตอนของกระบวนการผลิตที่สำคัญที่มีความจำเป็นต้องมีการนำเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติส่วนหนึ่งมาใช้เพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในเตาอบเหล็ก นั่นก็คือ กระบวนการเปลี่ยนลูกรีด หรือที่เรียกว่า Stand Change ซึ่งจากการรวบรวมสถิติข้อมูลในปี 2560 พบว่าบริษัทฯ จะมีการเปลี่ยนลูกรีดรวมทั้งสิ้น 305 ครั้ง/ปี หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 25 ครั้ง/เดือน โดยทุกครั้งของการเปลี่ยนลูกรีดนั้นจำเป็นต้องมีการปรับอุณหภูมิของเตาอบเหล็กให้ลดลงและทำการอุ่นเตาไว้ให้ได้ตามอุณหภูมิที่ต้องการก่อน จากนั้นต้องให้ความร้อนขึ้นมาใหม่ (Heat-up) เพื่อให้อุณหภูมิภายในเตาอบเหล็กนั้นกลับมาสู่อุณหภูมิที่สามารถเริ่มการผลิตได้อีกครั้งที่ 1,250 °C ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้บริษัทฯ มีต้นทุนของการใช้ก๊าซธรรมชาติสำหรับให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กในกระบวนการเปลี่ยนลูกรีดที่ต้องสูญเสียไปโดยที่ไม่ได้ก่อให้เกิดผลผลิตถึงปีละ 404,388 Nm³ หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นต่อปีเท่ากับ 3,687,462 บาท (ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 1.2)

ตารางที่ 1.2 ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในการควบคุมอุณหภูมิเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการเปลี่ยน
ลูกรีด

| ช่วงเวลา | จำนวน stand change ทั้งหมด (ครั้ง) | ปริมาณ NG ที่ใช้ในการ Stand change ทั้งหมด (Nm ³) | ค่าใช้จ่าย NG ในการ Stand change ทั้งหมด (บาท)* | ปริมาณการใช้ NG ในการ Stand change เฉลี่ย/ครั้ง (Nm ³) | ค่าใช้จ่าย NG ในการ Stand change เฉลี่ย/ครั้ง (บาท)* |
|------------|--|--|--|--|--|
| มกราคม | 21 | 29,942 | 254,208 | 1,426 | 12,102 |
| กุมภาพันธ์ | 25 | 35,607 | 302,303 | 1,424 | 12,089 |
| มีนาคม | 27 | 38,424 | 326,220 | 1,423 | 12,079 |
| เมษายน | 27 | 38,493 | 326,806 | 1,426 | 12,100 |
| พฤษภาคม | 27 | 38,507 | 326,924 | 1,426 | 12,105 |
| มิถุนายน | 24 | 34,131 | 289,772 | 1,422 | 12,070 |
| กรกฎาคม | 27 | 38,433 | 326,296 | 1,423 | 12,081 |
| สิงหาคม | 25 | 35,532 | 301,667 | 1,421 | 12,063 |
| กันยายน | 26 | 36,993 | 314,071 | 1,423 | 12,076 |
| ตุลาคม | 29 | 41,276 | 350,433 | 1,423 | 12,080 |
| พฤศจิกายน | 28 | 39,928 | 338,989 | 1,426 | 12,103 |
| ธันวาคม | 19 | 27,064 | 229,773 | 1,424 | 12,090 |
| รวม | 305 | 404,388 | 3,687,462 | ค่าเฉลี่ย 1,424 (Nm ³ /ปี) | ค่าเฉลี่ย 12,087 (บาท/ปี) |

หมายเหตุ *ต้นทุนก๊าซธรรมชาติราคา 8.49 บาท/หน่วย (Nm³) ในปี 2560

ดังนั้นการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ถึงสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น
ในกระบวนการผลิต และนำเสนอแนวทางในการลดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติสำหรับการให้ความ
ร้อนกับเตาอบเหล็กช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด เพื่อช่วยลดต้นทุนที่ต้องสูญเสียไปโดยที่ไม่ได้ก่อให้เกิด
ผลผลิตลง โดยเปลี่ยนแปลงวิธีการควบคุมการทำงานในช่วงกระบวนการเปลี่ยนลูกรีดใหม่ ทั้งนี้เพื่อให้
เกิดการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยผลลัพธ์ที่ได้จะต้อง
ไม่ทำให้กระบวนการผลิตลดลงและไม่ส่งผลทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อลดต้นทุนที่สูญเสียไปของปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด (Stand Change) ของโรงงานที่เป็นกรณีศึกษา

1.2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยและระดับของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด

1.3 สมมติฐานการวิจัย

การเปลี่ยนแปลงวิธีการควบคุมกระบวนการทำงานของเตาอบเหล็กสามารถที่จะช่วยลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติสำหรับการให้ความร้อนภายในเตาอบเหล็กช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีดของโรงงานที่เป็นกรณีศึกษาลงได้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 โรงงานกรณีศึกษา คือ บริษัทรีดเหล็กร้อนแห่งหนึ่งตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง

1.4.2 ทำการศึกษาเฉพาะกระบวนการควบคุมความร้อนภายในเตาอบเหล็กในช่วงกระบวนการเปลี่ยนลูกรีดของฝ่ายผลิต ส่วนผลิตเหล็กรีด เท่านั้น

1.4.3 ปัจจัยควบคุมที่ทำการศึกษา ในส่วนการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะไม่ได้ทำการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้

1.4.4 ช่วงเวลาที่ใช้ในการศึกษาการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติของกระบวนการให้ความร้อนในเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด (Stand change) เริ่มต้นตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2560 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2561

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

การวิจัยครั้งนี้ มีนิยามศัพท์เฉพาะดังนี้

1.5.1 Stand Change คือ กระบวนการเปลี่ยนแบบลูกรีดในกระบวนการรีดเหล็กร้อน

1.5.2 Reheating Furnace คือ เตาอบเหล็ก

1.5.3 Heat up คือ การให้ความร้อนแก่เหล็กจนได้อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการผลิต

1.5.4 Natural Gas (NG) คือ ก๊าซธรรมชาติ

1.5.5 Normal Cubic Meter (Nm³) คือ หน่วยการวัดก๊าซธรรมชาติเป็น ลบ.ม.มาตรฐาน

(Nm³) ซึ่งหมายถึง ปริมาตรของก๊าซ ณ สภาวะมาตรฐานความดัน 1 บรรยากาศ

(1.01 bar, 14.72 psi) อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส

1.5.6 Design of Experiment (DOE) คือ การออกแบบการทดลองอย่างเป็นระบบและมีการควบคุมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสม ซึ่งอาศัยแบบจำลองหรือสมการทางคณิตศาสตร์มาอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การวิจัยครั้งนี้ มีประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับดังนี้

1.6.1 สามารถลดต้นทุนการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในการให้ความร้อนเตาอบเหล็กในช่วงระหว่างที่มีกระบวนการเปลี่ยนลูกรีด (Stand Change) ได้

1.6.2 ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงวิธีการทำงานในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมผลิตเหล็กรีดร้อนโดยที่ไม่ทำให้กระบวนการผลิตลดลงและไม่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป

1.6.3 สามารถนำเสนอต่อผู้บริหารเพื่อประกอบการตัดสินใจในการพิจารณาปรับปรุงขั้นตอนการทำงานใหม่ให้เกิดประโยชน์ในการลดต้นทุนและการใช้พลังงานของโรงงานได้อย่างคุ้มค่า

1.7 แผนการดำเนินงาน

การศึกษาลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติของเตาอบเหล็กรีดร้อนระหว่างช่วงการอุ่นเตาเพื่อเปลี่ยนลูกรีดโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองจะใช้ระยะเวลาในการศึกษาวิจัยตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2560 จนถึงเดือน ธันวาคม 2561 รวมทั้งสิ้น 17 เดือน



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าข้อมูลโดยอาศัยแนวคิดทฤษฎี ผลงานวิจัย และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย เพื่อใช้ประกอบในการทำงานวิจัยครั้งนี้โดยนำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ความหมายของคุณภาพ

2.1.2 ความเป็นมาของการควบคุมคุณภาพ

2.1.3 เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 แบบ (QC 7 tools)

2.1.4 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

2.1.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA)

2.1.6 เตาอุตสาหกรรม

2.1.7 สภาวะการทำงานของเตาอบเหล็ก

2.1.8 การแบ่งพื้นที่การทำงานภายในเตาอบเหล็ก

2.1.9 ส่วนควบคุมการทำงานเตาเผา

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 งานวิจัยในประเทศ

2.2.2 งานวิจัยต่างประเทศ

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ความหมายของคุณภาพ

คุณภาพ (Quality) หมายถึง ความเหมาะสมกับการใช้งาน (Juran, 1964) การเป็นไปตามความต้องการ หรือสอดคล้องกับข้อกำหนด (Crosby, 1979) จากการศึกษาความหมายของคุณภาพที่ผู้เชี่ยวชาญกล่าวมา จะเห็นว่า คุณภาพเป็นคำที่มีความหมายเปลี่ยนแปลงและพัฒนาอยู่เสมอ อย่างไรก็ตาม อย่างไรก็ดี สามารถสรุปความสอดคล้องของความหมายได้ 3 ด้าน คือ การเป็นไปตามมาตรฐานหรือข้อกำหนด การสร้างความพอใจให้ลูกค้า และด้านต้นทุนการดำเนินงานที่เหมาะสม

(สุวรรณณี แสงมหาชัย, 2539) ได้กล่าวถึงคุณภาพ หมายถึง ความพึงพอใจของประชาชน ผู้รับบริการหรือลูกค้าที่มีผลต่อผลงานหรือสินค้าหรือบริการความพึงพอใจดังกล่าวเป็นดุลพินิจของลูกค้าที่จะตัดสินความมีคุณภาพนั้นในขณะใดขณะหนึ่ง องค์ประกอบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการทำงานจะมีส่วนสัมพันธ์กับความต้องการและความคาดหวังของลูกค้า ดังนั้น ตัวแปรทุกตัวแปรไม่ว่าจะเป็นวัสดุที่ใช้ในการทำงาน กระบวนการผลิต คุณภาพของผลงาน หรือฝีมือในการผลิตจะต้องมีคุณภาพเพื่อให้

ได้มาซึ่งผลลัพธ์ที่มีคุณภาพในระดับที่ทำให้ประชาชนได้รับความพึงพอใจมากที่สุด อาจกล่าวได้ว่า คุณภาพ หมายถึง ความคาดหวังหรือความต้องการของประชาชนที่มีผลต่อสินค้าหรือบริการ ซึ่งตัดสินโดยประชาชน ความคาดหวังและความต้องการดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ ตามกระแสการเปลี่ยนแปลงของโลก จึงจำเป็นต้องการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ตอบสนองกับได้ทันกับความต้องการที่อาจเปลี่ยนแปลงไป คุณภาพที่เกี่ยวข้องกับข้อผิดพลาดหรือข้อบกพร่องของผลงาน และถึงคำปรารภหรือข้อวิจารณ์ต่างๆ ของประชาชนที่มีต่อสินค้าหรือการให้บริการอีกด้วย

2.1.2 ความเป็นมาของการควบคุมคุณภาพ

การควบคุมคุณภาพเริ่มมีขึ้นอย่างจริงจังในสหรัฐอเมริกา ก่อนประเทศอื่นในช่วงระหว่างการทำสงครามโลกครั้งที่ 2 เมื่อเกิดปัญหาด้านคุณภาพของยุทธโธปกรณ์ทางด้านวัตถุระเบิด ผลิตภัณฑ์ส่วนมากขาดคุณภาพ เนื่องจากไม่มีการตรวจสอบคุณสมบัติของวัตถุระเบิดก่อนนำไปใช้ การประกันคุณภาพของวัตถุระเบิดนั้นนับว่าเป็นธุรกิจยุ่งยาก ผู้รับสินค้าคนสุดท้ายไม่อยู่ในฐานที่จะให้ข้อมูลป้อนกลับในทันที ดังนั้นเมื่อเสร็จสิ้นสงครามโลกครั้งที่ 2 จึงมีการนำระบบการควบคุมคุณภาพมาใช้ โดยเฉพาะกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกาได้นำเอาการควบคุมมาตรฐานไปสู่การพัฒนา ปรับปรุง มาตรฐานคุณภาพนี้ก็คือ MIL-Q-9858A และเมื่อสงครามโลกครั้งที่ 2 ยุติลง ญี่ปุ่นได้เริ่มฟื้นฟูเศรษฐกิจของประเทศจากสภาพที่แพ้สงครามมาพัฒนาเศรษฐกิจ โดยการผลิตสินค้าออกเพื่อนำรายได้เข้าประเทศ สินค้าของญี่ปุ่นได้แพร่กระจายออกสู่ตลาดโลกเป็นจำนวนมาก และเป็นที่รู้จักกันเป็นอย่างดี ลักษณะที่เป็นสินค้านำราคาถูก และไม่ค่อยมีคุณภาพเท่าที่ควร ลักษณะดังกล่าวทำให้ญี่ปุ่นพยายามทุกวิถีทางที่จะพัฒนาเทคนิคการบริหารงาน เพื่อให้เกิดคุณภาพขึ้น โดยในปี ค.ศ.1949 ญี่ปุ่นได้จัดตั้งสหภาพนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรญี่ปุ่นโดยใช้ชื่อว่า “Japanese Union of Scientists and Engineers” ขึ้น ชื่อว่า JUSE เพื่อเป็นหน่วยงานที่เผยแพร่หลักวิชาการเกี่ยวกับกาควบคุมคุณภาพในระยะแรกนั้นญี่ปุ่นได้อาศัยความรู้จากประเทศตะวันตกโดยเฉพาะอย่างยิ่งจากสหรัฐอเมริกา โดยในปี ค.ศ. 1950 JUSE ได้เชิญ Dr. W. Edwards Edming ดร.เดมมิ่ง ซึ่งเชี่ยวชาญการควบคุมคุณภาพทางด้านสถิติมาบรรยายให้ผู้บริหารระดับสูง และ วิศวกรของบริษัทอุตสาหกรรมใหญ่ของญี่ปุ่นได้รับฟังแต่ก็ยังไม่ได้ผลมากนัก จนกระทั่งในปี ค.ศ.1960 JUSE ได้เชิญ Dr. J. M. Juran จากสหรัฐอเมริกามาบรรยายเกี่ยวกับการบริหารคุณภาพแก่ผู้บริหารระดับสูงและวิศวกรญี่ปุ่น และได้พัฒนามาเป็น QCC (Quality Control Circle) ซึ่งเป็นรากฐานที่สำคัญในการพัฒนาคุณภาพต่อมา

ในปัจจุบันหลักการและแนวคิดด้านการควบคุมคุณภาพ มิได้เน้นเฉพาะด้านเทคนิคหรือวิธีการควบคุมคุณภาพแต่เพียงอย่างเดียว แต่ยังเน้นถึงในด้าน การประสานงาน และความร่วมมือระหว่างหน่วยงานทุกหน่วยงานในองค์กรตลอดจนมีการเสริมสร้างทักษะและความเข้าใจคุณภาพ

สินค้าให้แก่บุคลากรทุกระดับ ซึ่งแนวความคิดนี้ เอวี. เฟเกินบาม (A.V. Fegenbaum) เสนอไว้ในหนังสือที่เขาเขียนขึ้นมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2503 ชื่อว่า การควบคุมคุณภาพสมบูรณ์ (Total quality Control) ซึ่งแนวความคิดนี้ได้รับการยอมรับและนำไปปฏิบัติอย่างจริงจังในประเทศญี่ปุ่นจนทำให้สินค้าจากประเทศญี่ปุ่นมีคุณภาพดีจนสามารถแข่งขันได้ในโลกปัจจุบัน

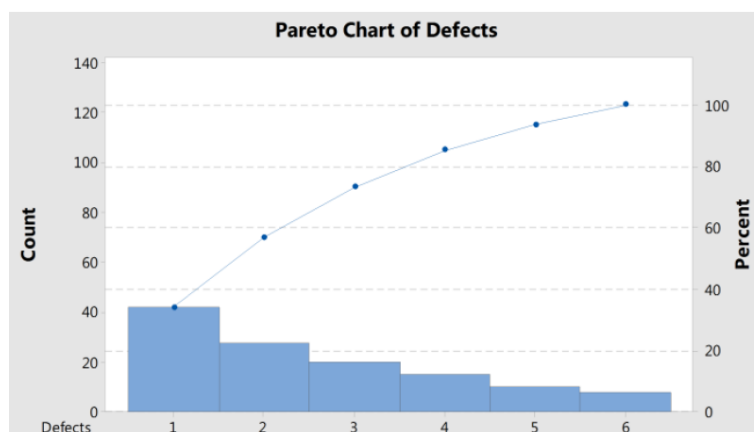
2.1.3 เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 แบบ (QC 7 Tools)

เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด นับได้ว่าเป็นสิ่งที่ช่วยพัฒนาและแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องมือเหล่านี้เป็นการรวบรวมและประยุกต์ใช้วิธีการทางสถิติ การใช้หลักการทางด้านเหตุผล และศาสตร์ความรู้ในด้านต่าง ๆ มารวบรวม และเลือกใช้ในการจัดการกับปัญหาแต่ละชนิด เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิดนี้มีที่มาจากองค์กรหนึ่งในประเทศญี่ปุ่น ชื่อว่า Union of Japanese Scientists and Engineers และกลุ่ม Quality Control Research Group ซึ่งได้ถูกจัดตั้งขึ้น ในปี ค.ศ. 1946 เพื่อค้นคว้าและทำการศึกษา ตลอดจนเผยแพร่ความรู้ความเข้าใจในเรื่องระบบการควบคุมคุณภาพให้กับอุตสาหกรรมภายในประเทศของญี่ปุ่น โดยมีจุดหมายเพื่อพัฒนาคุณภาพสินค้าของญี่ปุ่นให้สามารถเข้าสู่การแข่งขันในตลาดโลกได้อย่างทัดเทียมประเทศผู้นำทางเศรษฐกิจในสมัยนั้นอย่างอเมริกา และกลุ่มประเทศยุโรปตะวันตก จากนั้นได้มีการกำหนดมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศญี่ปุ่น (Japanese Industrial Standards) หรือ JIS Marking System ได้นำมาบังคับใช้เป็นกฎหมายในปี ค.ศ. 1950 และยังได้มีการเปิดสัมมนาทางวิชาการด้านการควบคุมคุณภาพให้แก่ผู้บริหารระดับต่าง ๆ และวิศวกรในประเทศ โดยมีผู้เชี่ยวชาญระดับโลกอย่าง Dr. W. E. Deming เป็นผู้นำในโครงการ นับเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาคุณภาพ ซึ่งต่อมาก็ได้มีการตั้งรางวัล Deming Prize อันมีชื่อเสียงทั่วโลก เพื่อมอบให้กับองค์กรอุตสาหกรรมหรือโรงงานที่มีการพัฒนาด้านคุณภาพดีเด่นของญี่ปุ่น ต่อมาในปี ค.ศ. 1954 ทางญี่ปุ่นได้เชิญ Dr. J. M. Juran มาทำการฝึกอบรมเกี่ยวกับหลักการควบคุมคุณภาพ เพื่อสร้างรากฐานความรู้ความเข้าใจแก่ผู้บริหารระดับสูงขององค์กรในการนำเทคนิคเหล่านี้มาใช้งาน โดยได้รับความร่วมมือจากพนักงานทุกฝ่าย นับเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาและรวบรวมเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพ ทั้ง 7 ชนิด ที่เรียกกันว่า 7 QC Tools มาใช้อย่างแพร่หลายจนทุกวันนี้ เครื่องมือคุณภาพทั้ง 7 ชนิดที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้ทั่วโลกนั้นมีดังต่อไปนี้

2.1.3.1 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)

แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) คือแผนภูมิแบบหนึ่งที่นำมาใช้ในการแสดงให้เห็นขนาดของปัญหาและเพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหา ชื่อแผนภูมิมิที่มาจากชื่อของนักเศรษฐศาสตร์ชาวอิตาลีชื่อ Vilfredo Federico Damaso Pareto ซึ่งเป็นผู้คิดค้นหลักการนี้ นั่นเอง ตัวอย่างแผนภูมิพาเรโตแสดงดังภาพที่ 2.1 แผนผังพาเรโตจะถูกนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ใน

การหาปัจจัยที่สำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหา กำหนดเป้าหมายในการแก้ปัญหาคุณภาพที่สอดคล้องกับปัจจัยสำคัญ และตรวจสอบความไม่แน่นอนของกระบวนการ (Stability of Process)

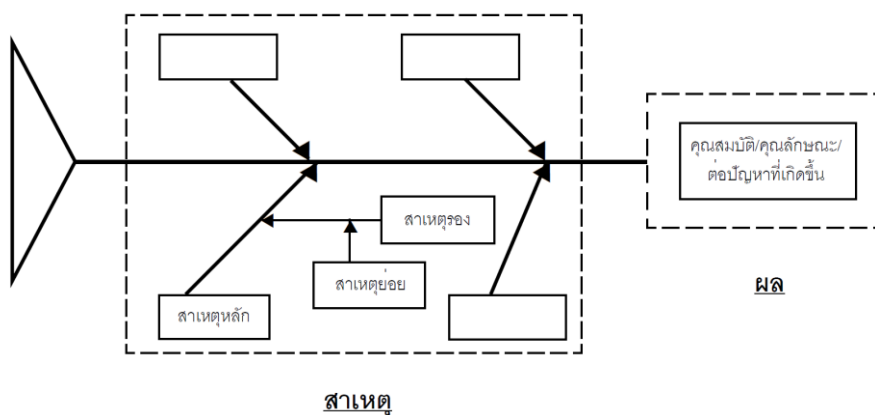


ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างแผนภูมิพาร์โต (Pareto Diagram)

ที่มา : (วิบูลย์ พงศพรทรัพย์, 2555)

2.1.3.2 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) หรือผังก้างปลา (Fishbone Diagram)

ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) หรือผังก้างปลา (Fishbone Diagram) ในบางครั้งเรียกว่า Ishikawa Diagram ซึ่งเรียกตามชื่อของ Kaoru Ishikawa ผู้ซึ่งเริ่มนำผังก้างปลาใช้ในปี ค.ศ. 1953 เป็นผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพกับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เราใช้ผังผังก้างปลาเพื่อต้องการหารากของสาเหตุ (Root Cause) ที่ก่อให้เกิดปัญหานำไปสู่การแก้ปัญหาแบบลบนรากลอนโคน ไม่เกิดปัญหาซ้ำอีก เรียกว่าการปฏิบัติการแก้ไข (Corrective Action : C/A) นอกจากนี้ผังแสดงเหตุและผลยังเป็นแผนภาพที่ใช้สำหรับพิสูจน์หาสาเหตุของสาเหตุหลักหรือปัญหาหลักที่ได้จากการสร้างแผนภาพพาร์โต โดยเราจะนำสาเหตุหลักหรือปัญหาหลักไว้ที่หัวปลาและจะหาสาเหตุย่อยที่ทำให้เกิดปัญหาหลักนี้ไว้ที่ก้างปลา และในแต่ละปัญหาย่อยเราจะแตกสาเหตุของสาเหตุย่อยออกมาอีกที (สาเหตุย่อยส่วนมากจะประกอบด้วยคน, วิธีการ, เครื่องจักร, วัตถุดิบ, สภาพแวดล้อม) โดยใช้หลักการ Why Why Analysis เป็นการถามว่าทำไม ทำไมไปเรื่อย ไม่มีการกำหนดปัญหาย่อย ยิ่งมากยิ่งดี วิธีการนี้ให้พนักงานที่เกี่ยวข้องทั้งหมดมาช่วยกันหาสาเหตุ และกำหนดแนวทางในการแก้ไขปัญหา รวมถึงผู้รับผิดชอบด้วย ตัวอย่างผังแสดงเหตุและผลแสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของผังก้างปลา

ที่มา : (พนพ เกษามา, 2561)

2.1.3.3 กราฟ (Graph)

คือ แผนภาพประเภทใดประเภทหนึ่งที่เป็นการนำเสนอข้อมูลเป็นรูปภาพ แทนคำบรรยาย โดยมีเป้าหมายหลักคือ ต้องทำให้ผู้ที่ดูกราฟสามารถเข้าใจได้ง่ายและรวดเร็วที่สุด โดยสามารถจำแนกประเภทของแผนภูมิที่นำมาใช้ได้ดังนี้

กราฟเส้น (Line Graph) : แสดงถึงความผันแปรของข้อมูลเชิงตัวเลข ถ้าแกน X เป็นเวลาจะเรียกว่ากราฟแนวโน้ม (Trend Graph)

กราฟแท่ง (Bar Graph) : แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลตั้งแต่ 2 ข้อมูลขึ้นไป โดยการเปรียบเทียบความยาวของกราฟหรือพื้นที่ของกราฟ

กราฟวงกลม (Pie Chart) : แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนของข้อมูลแต่ละประเภท

กราฟแถบ (Belt Graph) : แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนของข้อมูลแต่ละประเภท แตกต่างจากกราฟวงกลมในเรื่องของการแสดงอนุกรมเวลา

กราฟเรดาร์หรือใยแมงมุม (Radar Chart) : แสดงเปรียบเทียบปริมาณของข้อมูลที่ต้องการแสดงผลมากกว่า 2 มิติ

2.1.3.4 ใบตรวจสอบ (Check sheet)

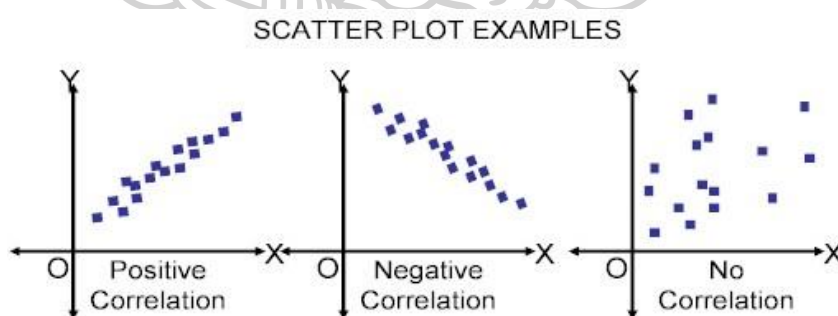
ใบตรวจสอบ (Check sheet) หรือที่นิยมเรียกกันว่า Check Sheet เป็นแผ่นงาน ที่ได้ออกแบบมาอย่างเฉพาะเจาะจงต่องานนั้นๆ โดยมีจุดประสงค์ที่จะเก็บข้อมูลสำคัญๆ ได้ง่ายและเป็นระบบโดย JURAN Institute Inc. ได้จำแนกประเภทของแผ่นตรวจสอบดังนี้ 1) แผ่นตรวจสอบ

สำหรับการบันทึกข้อมูล 2) แผ่นตรวจสอบสำหรับการค้นหาสาเหตุ 3) แผ่นตรวจสอบสำหรับการกระจายตัวของกระบวนการผลิต และ 4) แผ่นตรวจสอบสำหรับระบุตำแหน่งการเกิดปัญหา

วิธีการใช้ใบตรวจสอบ (Check Sheet) โดยส่วนใหญ่จะประยุกต์ใช้บันทึกข้อมูล เช่น ใบรายงานผลการปฏิบัติงานประจำวัน (Daily Report) ใบบันทึกรายงานของเครื่องจักร (machine report) ข้อมูลส่วนใหญ่ที่บันทึกจะเป็นสิ่งที่พบ ณ ขณะที่ตรวจสอบ เช่น ระดับน้ำมันในเครื่องจักร อยู่ในระดับ M (medium) ความเร็วของสายพาน 50 rpm. (Round per Minutes) อุณหภูมิเตาอบ 90 องศาเซลเซียส เป็นต้น รวมไปถึงการใช้ตรวจสอบ โดยจะทำตารางเป็นช่องๆ ตามที่กำหนด สำหรับ Check Sheet เช่น ใบรายงานผลการตรวจสอบสินค้า ใบรายงานการตรวจสอบการทำความสะอาดห้องน้ำของแม่บ้าน เช่น ตรวจสอบพบว่าสินค้าไม่มีตำหนิ ก็ขีดว่า “ผ่าน” หรือ สินค้าครบตามจำนวนที่จัดส่ง และขนขึ้นรถส่งของเรียบร้อยแล้วไม่พบปัญหา ก็ขีดว่า “ผ่าน” เป็นต้น

2.1.3.5 ผังการกระจาย (Scatter Diagram)

ผังการกระจาย (Scatter Diagram) คือ ผังที่ใช้แสดงค่าของข้อมูลที่เกิดจากความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ตัว ว่ามีแนวโน้มไปในทางใด เพื่อที่จะใช้หาความสัมพันธ์ที่แท้ โดยที่เราใช้แผนผังการกระจายเพื่อวัตถุประสงค์ดังนี้ คือเพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล 2 ตัวแปร ที่เราสนใจศึกษาว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ เช่น อุณหภูมิในเตาอบกับค่าความแข็งของโลหะที่นำไปอบ เป็นต้นจริง (ตัวอย่างผังการกระจายแสดงดังภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างผังการกระจาย (Scatter Diagram)

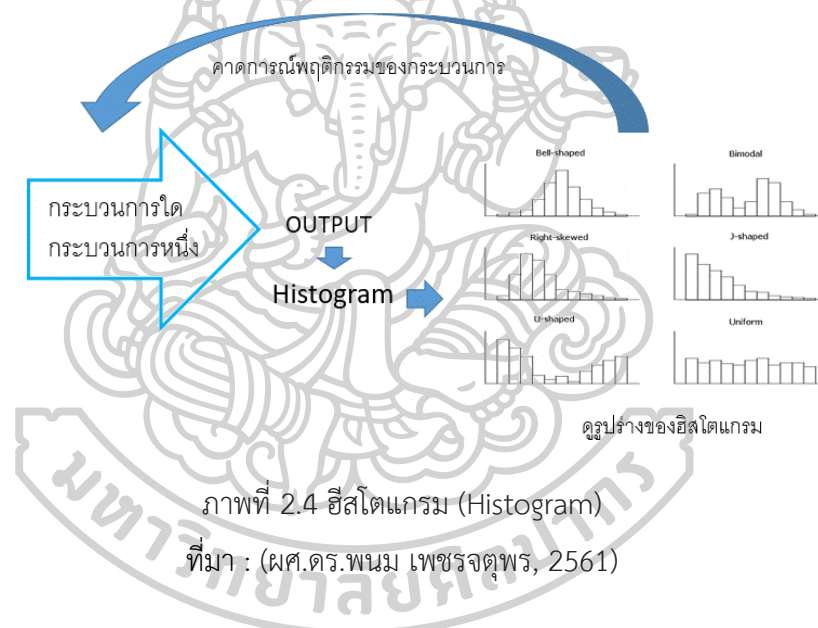
ที่มา : (อาจารย์ทองพันชั่ง พงษ์วารินทร์, 2561)

2.1.3.6 ฮิสโตแกรม (Histogram)

ฮิสโตแกรม (Histogram) เป็นแผนภูมิแท่งที่บอกถึงความถี่ที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นความถี่นั้นๆ โดยแต่ละแท่งจะวางเรียงติดกัน แกนนอนจะกำกับด้วยค่าขอบบนและขอบล่างของชั้นนั้นๆ หรือใช้ค่ากลาง (Midpoint) ส่วนแกนตั้งเป็นค่าความถี่ในแต่ละชั้น ความสูงของแต่ละแท่ง

จะขึ้นอยู่กับความถี่ที่เกิดขึ้นนั้น (ตัวอย่างฮิสโตแกรมแสดงดังภาพที่ 2.4) ประโยชน์สำคัญของการใช้ฮิสโตแกรม (Histogram) คือการใช้เพื่อวิเคราะห์ความถี่ของข้อมูลแล้วตัดสินใจว่าการแจกแจงหรือการกระจายข้อมูลแบบใดมีผลต่อผลิตภัณฑ์ไปในทิศทางที่ดีหรือไม่และยังสามารถใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลจากการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุงและนำมาใช้วิเคราะห์หาความสามารถของกระบวนการผลิต (Process Capability) ได้อีกด้วย

ในอุตสาหกรรมเรามักจะมีการใช้เครื่องมือ ฮิสโตแกรม (Histogram) ในการวิเคราะห์ข้อมูลของผลิตภัณฑ์อยู่เป็นประจำเพื่อวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการว่าเป็นไปตามแผนที่วางไว้หรือไม่ การวิเคราะห์ฮิสโตแกรม (Histogram) ที่ลึกซึ้งจะช่วยให้เราเข้าใจธรรมชาติของผลิตภัณฑ์และกระบวนการ นอกจากนี้ยังจะช่วยให้เราหาแนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลและแนวทางการปรับปรุงงานที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

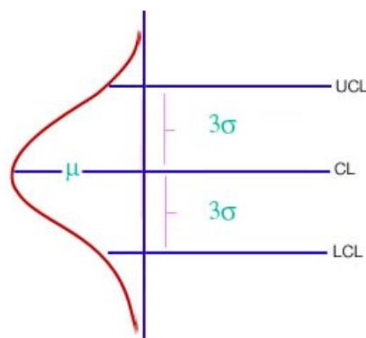


2.1.3.7 แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

แผนภูมิควบคุม (Control Chart) คือแผนภูมิที่มีการแสดงค่าที่ยอมรับได้ตาม (ข้อกำหนดทางเทคนิค : Specification) เพื่อเป็นแนวทางในการควบคุมกระบวนการ โดยการติดตามผลของข้อมูลที่เกิดขึ้นเทียบกับ Spec. และขีดจำกัดบน - ล่าง (Control Limit) ที่ได้ทำการคำนวณไว้ตามวิธีการทางสถิติ

ลักษณะของแผนภูมิควบคุมโดยปกติแล้วแผนภูมิควบคุมจะประกอบด้วยเส้นควบคุม 3 เส้น ได้แก่ ขีดจำกัดควบคุมบน (Upper Control Limit : UCL), ขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower Control Limit : LCL), และเส้นกลาง (Center Line : CL) ระยะห่างจากเส้นกลางถึงขีดจำกัดควบคุมบนจะเท่ากับระยะห่างจากเส้นกลางถึงขีดจำกัดควบคุมล่าง คือเท่ากับ 3 ซิกมา

ในกรณีไม่ทราบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรจากกระบวนการทั้งหมดจะแทนด้วยค่า S คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลตัวอย่างจากกระบวนการ (ลักษณะของแผนภูมิควบคุมโดยปกติแสดงดังภาพที่ 2.5)



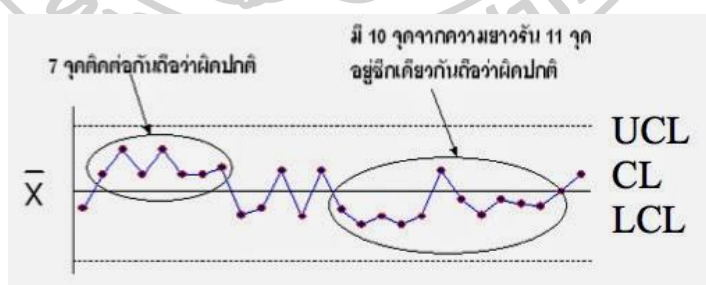
ภาพที่ 2.5 กราฟแสดงความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบปกติ

ที่มา : (สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง กระทรวงการคลัง, 2548)

หลังจากได้ทำการสร้างแผนภูมิ Control Chart แล้วเราสามารถพิจารณาจุดผิดปกติที่เกิดขึ้นในแผนภูมิได้ ซึ่งได้แก่

จุดผิดปกติอยู่นอกจุดควบคุม (Out of Control) ที่มีบางจุดอยู่นอกเขตควบคุม ($\pm 3s$) ไปอย่างชัดเจนซึ่งจะแสดงให้เห็นว่ามีของเสียเกิดขึ้นแล้วในกระบวนการ

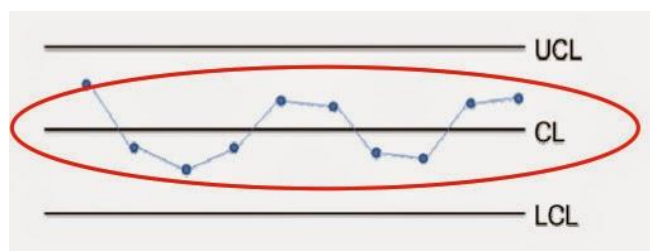
จุดผิดปกติเกิดการเกาะกลุ่ม (Run) ที่จุดพิกต์อย่างน้อย 7 จุดปรากฏติดต่อกันอยู่ด้านใดด้านหนึ่งของแผนภูมิ (Shift) เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงกระบวนการ เช่น พัฒนาระบบการทำงานแล้วผลลัพธ์ดีขึ้นกว่าเดิม เป็นต้น (แสดงดังภาพที่ 2.6)



ภาพที่ 2.6 การเกาะกลุ่มที่มีจุดพิกต์อย่างน้อย 7 จุดปรากฏติดต่อกันอยู่ด้านใดด้านหนึ่งของแผนภูมิ

ที่มา : (สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง กระทรวงการคลัง, 2548)

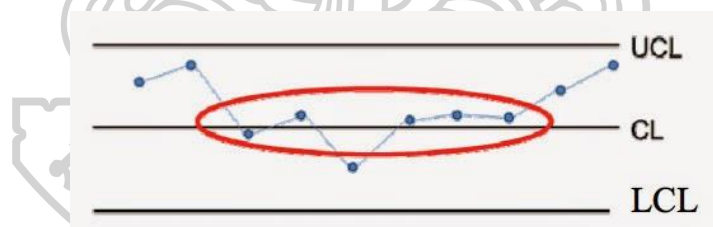
จุดผิดปกติเกิดการเกาะกลุ่ม (Run) ที่จุดพิกต์อย่างน้อย 14 จุด ขึ้นและลง เป็นแบบแผนอย่างต่อเนื่องซ้ำกัน (Cycle) เป็นผลมาจากช่วงเวลาหรือช่วงฤดูกาลที่ผลัดเปลี่ยน หมุนเวียนกันไป เช่น การผลัดเปลี่ยนเวร ประสิทธิภาพในการทำงาน เวรเช้าดีกว่าเวรดึก หรือการระบาดของโรคตามฤดูกาล เป็นต้น (แสดงดังภาพที่ 2.7)



ภาพที่ 2.7 การเกาะกลุ่มที่มีจุดพิกต์อย่างน้อย 14 จุด ขึ้นและลงเป็นแบบแผนอย่างต่อเนื่องซ้ำกัน

ที่มา : (สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง กระทรวงการคลัง, 2548)

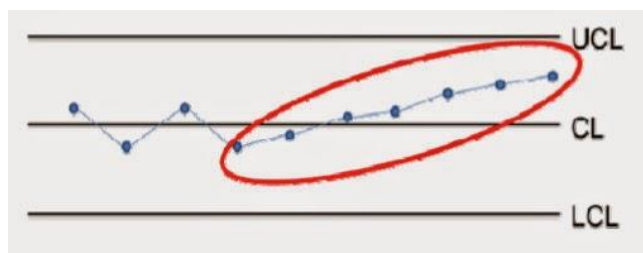
จุดผิดปกติเกิดการเกาะกลุ่ม (Run) ที่จุดพิกต์อย่างน้อย 4 ใน 5 จุด ที่อยู่ต่อเนื่องกันใกล้ Central line เป็นผลมาจากการปรับปรุงกระบวนการให้ดีขึ้น ทำให้ความผันแปรในระบบน้อยลง ถึงแม้ค่าเฉลี่ยจะยังเท่าเดิม หรือในทางตรงข้ามอาจมากขึ้นหรือลดลง (แสดงดังรูปที่ 2.8)



ภาพที่ 2.8 การเกาะกลุ่มที่มีจุดพิกต์อย่างน้อย 4 ใน 5 จุด ที่อยู่ต่อเนื่องกันใกล้

ที่มา : (สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง กระทรวงการคลัง, 2548)

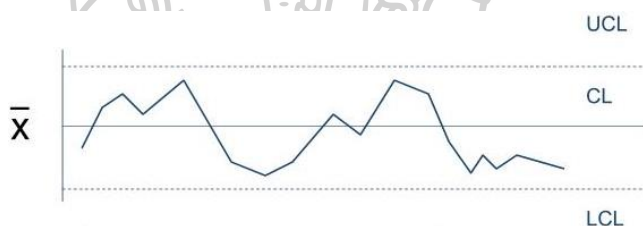
จุดผิดปกติเกิดแนวโน้ม (Trend) คือ มีบางจุดเรียงตัวกันอย่างต่อเนื่อง 6 จุด ภายในเขตควบคุม ($\pm 3s$) ซึ่งค่าเฉลี่ยของชิ้นงานที่ผลิตได้จากกระบวนการนี้กำลังมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ออกจากที่ตั้งไว้ครั้งแรก ดังนั้นควรหยุดกระบวนการเพื่อปรับค่าต่างๆ (แสดงดังภาพที่ 2.9)



ภาพที่ 2.9 ลักษณะของแผนภูมิแบบเกิดแนวโน้ม

ที่มา : (สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง กระทรวงการคลัง, 2548)

จุดผิดปกติเกิดวัฏจักร (Periodicity) คือ มีบางจุดเรียงตัวสลับขึ้นลงระหว่างเส้น CL เรียงกันทั้งหมด 14 จุด ภายในเขตควบคุม ($\pm 3s$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการหมุนเวียนของเหตุการณ์ต่างๆ ในกระบวนการ โดยเมื่อครบหนึ่งรอบจะกลับมาอีกครั้งหนึ่ง จึงอาจใช้ทำนายผลในอนาคตหรือช่วงเวลาที่ผ่านมาได้ (แสดงดังภาพที่ 2.10)



ภาพที่ 2.10 ลักษณะของแผนภูมิแบบเกิดวัฏจักร

ที่มา : (สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง กระทรวงการคลัง, 2548)

2.1.4 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

2.1.4.1 ความหมายและแนวคิดของการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการวิจัย เป็นการกำหนดกิจกรรมและรายละเอียดของกิจกรรมที่ผู้วิจัยจะดำเนินการตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุดการวิจัย อาทิ การเตรียมการ การกำหนดสมมติฐาน การกำหนดตัวแปร หรือการวิเคราะห์ข้อมูล เป็นต้น และวิธีการและแนวทางที่จะทำให้ได้ข้อมูลจากประชากรหรือกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการศึกษา (สุชาติ ประสิทธิ์รัฐสินธุ์, 2546)

การออกแบบการทดลอง คือ การวางแผนการทดลองก่อนที่จะลงมือปฏิบัติจริง โดยให้สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้เสมอ และควบคุมปัจจัยหรือตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการทดลอง แบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ 1) ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น (Independent Variable or Manipulated Variable) คือปัจจัยที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดผลการทดลองหรือตัวแปรที่ต้องศึกษาทำการตรวจสอบดูว่า

เป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดผลเช่นกัน 2) ตัวแปรตาม (Dependent Variable) คือผลที่เกิดจากการทดลอง ซึ่งต้องใช้วิธีการสังเกตหรือวัดผลด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อเก็บข้อมูลไว้ และเปลี่ยนแปลงไปตามตัวแปรอิสระ และ 3) ตัวแปรที่ต้องควบคุม (Control Variable) คือปัจจัยอื่นๆ ที่นอกเหนือจากตัวแปรต้นที่มีผลต่อการทดลอง และต้องควบคุมให้เหมือนกันทุกชุดการทดลอง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลการทดลองเกิดความคลาดเคลื่อน

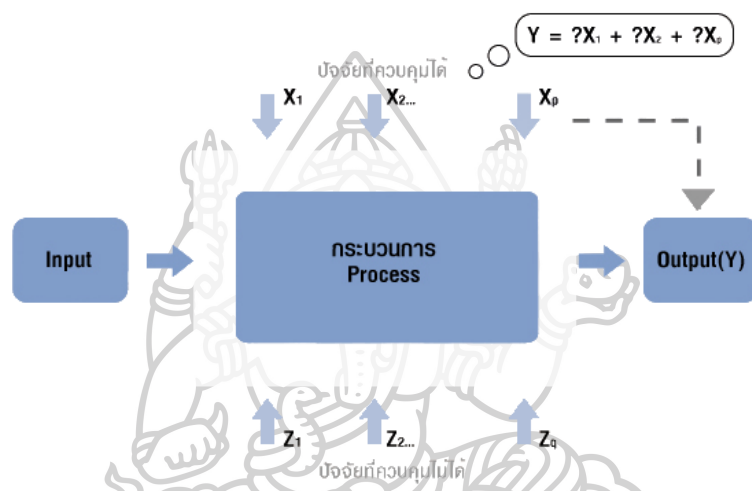
ในการตรวจสอบสมมติฐาน นอกจากจะควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง จะต้องแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดทดลอง หมายถึง ชุดที่เราใช้ศึกษาผลของตัวแปรอิสระ และชุดควบคุม หมายถึง ชุดของการทดลองที่ใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งชุดควบคุมนี้จะมีตัวแปรต่างๆ เหมือนชุดทดลองแต่จะแตกต่างจากชุดทดลองเพียง 1 ตัวแปรเท่านั้น คือตัวแปรที่เราจะตรวจสอบหรือตัวแปรอิสระ

2.1.4.2 วัตถุประสงค์การออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองในการดำเนินการวิจัย มีจุดมุ่งหมาย 2 ประการ คือ เพื่อให้ได้คำตอบของปัญหาการวิจัยที่ถูกต้อง ชัดเจน และมีความเที่ยงตรงน่าเชื่อถือ (Kerlinger, 1986) โดยการสร้างกรอบแนวคิดการวิจัยที่ระบุความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษา รวมถึงนำไปใช้เป็นแนวทางในการเก็บรวบรวมข้อมูล หรือการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อควบคุมความแปรปรวนของตัวแปรการวิจัยที่ศึกษา โดยต้องมีการศึกษาให้มีความครอบคลุมขอบเขตของปัญหาการวิจัยให้มากที่สุด (สมหวัง พิธิยานุวัฒน์, 2533) รวมไปถึงควบคุมอิทธิพลของตัวแปรที่ไม่อยู่ในขอบเขตของการวิจัยแต่จะมีผลกระทบต่อผลการวิจัยให้ได้มากที่สุด และลดความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นในการวิจัยให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2543)

การออกแบบการทดลองจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาว่าวัตถุดิบที่ใส่เข้าไปในกระบวนการผลิต (Input: Xs) หรืออิทธิพลระหว่างกันของวัตถุดิบ (Interaction) มีความสัมพันธ์ต่อผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการผลิต (Output: Ys) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หรือไม่ ดังนั้นการออกแบบการทดลองจึงเป็นวิธีการเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับค่าของปัจจัย (Factors) อย่างมีจุดมุ่งหมายที่จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนอง (Response) ที่เกิดขึ้น กระบวนการที่มีปัจจัย (Factors) หรือตัวแปรตอบสนอง (Response : X_1, X_2, X_3, X_4) ต่างๆ ที่ส่งผลต่อค่า Y ซึ่งเป็นคุณลักษณะด้านคุณภาพ (Quality Characteristic) ของกระบวนการ ทั้งนี้ประโยชน์ของการออกแบบการทดลองสามารถใช้เป็นเครื่องมือที่ช่วยให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย ในขณะที่ผลลัพธ์มีความน่าเชื่อถือสูง สามารถนำไปใช้ในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของกระบวนการเพื่อให้กระบวนการนั้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Optimal Process Setting)

การออกแบบการทดลองที่เกิดประสิทธิผล ผู้ควบคุมต้องทำตามขั้นตอนโดยต้องทำความเข้าใจกับปัญหา กำหนดวัตถุประสงค์ให้ชัดเจน เลือกผลลัพธ์ (Y) ของกระบวนการ กำหนดปัจจัย (X) ที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับผลลัพธ์ (Y) ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้กลยุทธ์ที่เหมาะสม ได้แก่ One Factor at A Time, Full Factorial, Fractional Factorial, 2^k Factorial ทำการวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการทดลอง จากนั้นจึงนำข้อสรุปที่ได้ไปปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการแล้วทดลองเก็บข้อมูลอีกครั้งเพื่อยืนยันผลก่อนนำไปปฏิบัติงานจริง โดยแสดงกระบวนการได้ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 กระบวนการออกแบบการทดลอง
ที่มา : (สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2561)

2.1.4.3 หลักการพื้นฐานที่สำคัญของการออกแบบการทดลอง

(รองศาสตราจารย์สายชล สิ้นสมบูรณ์ทอง, 2558a) ได้กล่าวถึงหลักการพื้นฐานในการวางแผนแบบการทดลอง ไว้ดังนี้

การทดลอง (Experiment) เป็นวิธีการตรวจสอบเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อเท็จจริงใหม่ๆ หรือเพื่อยืนยันหรือปฏิเสธผลการทดลองที่ผ่านมา การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1) การทดลองเบื้องต้น (Preliminary Experiment) เป็นการทดลองที่ศึกษาเกี่ยวกับทริทเมนต์ที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก โดยเน้นการทดลองเบื้องต้นเพื่อนำผลที่ได้ไปศึกษาในการทดลองครั้งต่อไป ทริทเมนต์เหล่านี้ส่วนใหญ่ปรากฏหรือใช้ในการทดลองเพียงแค่ครั้งเดียวเท่านั้น 2) การทดลองขั้นวิกฤต (Critical Experiment) เป็นการทดลองที่ศึกษาเกี่ยวกับการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของทริทเมนต์ โดยใช้ค่าสังเกตของผลตอบสนองต่อทริทเมนต์ที่เหมาะสม เป็นการทดลองที่ต้องการหาคำตอบอย่างชัดเจนเพื่อนำผลการศึกษาไปใช้งานต่อไป และ 3) การทดลองขั้นสาธิต (Demonstration

Experiment) เป็นการทดลองที่ต้องการแสดงการเปรียบเทียบให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของทริทเมนต์ใหม่กับทริทเมนต์เดิมที่ใช้อยู่หรือทริทเมนต์มาตรฐาน

หน่วยทดลองหรือแปลงทดลอง (Experimental Unit or Experimental Pilot) หมายถึง หน่วยหรือกลุ่มของวัตถุทดลองที่ได้รับทริทเมนต์ชนิดเดียวกัน หน่วยทดลองอาจเป็นพืช 1 ต้น ในกระถาง สัตว์ 1 ตัวในกรง พืชหลายต้นในกระถางเดียวกัน หรือสัตว์หลายตัวในกรงเดียวกัน เป็นต้น หน่วยทดลองที่ใช้ทางด้านเกษตรกรรมอาจเรียกว่า แปลงทดลอง

2.1.4.4 ส่วนประกอบต่างๆ ของการทดลอง

หน่วยทดลอง (Experimental Unit) หมายถึง หน่วยที่เล็กที่สุดของวัตถุทดลองที่ได้รับทริทเมนต์ใดๆ ในครั้งหนึ่งๆ หน่วยทดลองอาจเป็นหน่วยเดียว เช่น ต้นพืช 1 ต้น ที่ปลูกในกระถาง หรือหน่วยกลุ่มซึ่งการทดลองด้านพืช เรียกว่า แปลงย่อย (plot) หน่วยทดลองแต่ละหน่วยจะให้ค่าสังเกตเพียง 1 ค่า

ทริทเมนต์ (Treatment) หมายถึง ลักษณะประจำตัวของวัตถุทดลอง หรือวิธีการที่ใช้ปฏิบัติต่อหน่วยทดลอง ถ้าผู้ทดลองต้องการเปรียบเทียบพันธุ์สัตว์ พันธุ์สัตว์ต่างๆ ซึ่งเป็นลักษณะประจำตัวของสัตว์ ก็คือทริทเมนต์ ในทำนองเดียวกัน อายุ เพศ สีผิว ซึ่งเป็นลักษณะประจำตัวของวัตถุทดลอง ถ้าผู้ทดลองต้องการเปรียบเทียบก็ถือว่าเป็นทริทเมนต์ ในขณะเดียวกัน อาหารสัตว์สูตรต่างๆ บัญพืชชนิดต่างๆ กรรมวิธีต่างๆ ที่ใช้ผลิตทางอุตสาหกรรมเป็นวิธีการปฏิบัติต่อหน่วยทดลอง ถ้าผู้ทดลองต้องการเปรียบเทียบก็ถือว่าเป็นทริทเมนต์ ทริทเมนต์อาจเกิดจากปัจจัยเดียว เช่น ต้องการศึกษาเฉพาะปัจจัยเกี่ยวกับพันธุ์สัตว์เพียงปัจจัยเดียว หรืออาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น ต้องการศึกษาทั้งพันธุ์สัตว์และสูตรอาหารสัตว์ เป็นต้น ทริทเมนต์อาจมีชื่อเฉพาะโดยเรียกตามลักษณะการใช้และวัตถุประสงค์ของการทดลอง เช่น ถ้าใช้ทริทเมนต์นั้นเป็นตัวควบคุม จะเรียกว่า ทริทเมนต์ควบคุม (Control Treatment) ถ้าใช้ทริทเมนต์นั้นเป็นวิธีการปฏิบัติที่ใช้เป็นมาตรฐานทั่วไป จะเรียกว่า ทริทเมนต์มาตรฐาน (Standard Treatment)

ปัจจัย (Factor) หมายถึง กลุ่มของการทดลองร่วมปัจจัยทั้งหลายที่มีความเกี่ยวข้องกันอาจใช้คำว่าตัวแปรอิสระแทนก็ได้ ปัจจัยนั้นอาจเป็นไปได้ทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณสามารถแบ่งออกเป็น ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) ซึ่งประกอบด้วย ตัวแปรรบกวน (Noise Variable) คือ ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองในการทดลองแต่ไม่ใช่เป็นปัจจัยที่กำลังทำการศึกษา ได้แก่ เวลา เครื่องมือ อุปกรณ์ เป็นต้นและตัวแปรสอดแทรก (Nuisance Variable) คือ ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองแต่ไม่ทราบมาก่อน

ระดับของปัจจัย (Level of Factor) หมายถึง ความแตกต่างของปัจจัยอาจสามารถเรียงลำดับตามความมากน้อยได้ ปัจจัยที่มีระดับแตกต่างกันสามารถใช้เป็นทริทเมนต์ได้

ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) หมายถึง ตัวแปรที่ถูกสังเกตหรือถูกวัดค่าในการทดลอง เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าตัวแปรตาม ซึ่งเป็นตัวแปรที่สะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระ

การออกแบบการทดลองจะให้ประสิทธิภาพในการวิเคราะห์สูงสุด จะต้องนำวิธีการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในการวางแผนการทดลอง

2.1.4.5 ความคลาดเคลื่อนในการทดลอง

คือความแปรผันระหว่างค่าสังเกตของหน่วยทดลองที่ได้รับทรีทเมนต์ชนิดเดียวกัน ซึ่งความคลาดเคลื่อนนี้เป็นปัจจัยภายนอกหรืออิทธิพลอื่นๆ ที่นอกเหนือจากอิทธิพลของทรีทเมนต์ การที่หน่วยทดลองหลายๆ หน่วย ได้รับทรีทเมนต์ชนิดเดียวกันแต่ให้ผลตอบสนองต่อทรีทเมนต์แตกต่างกันอาจเกิดจากหลายสาเหตุที่เป็นความแปรผันจากสาเหตุที่ไม่ทราบแน่ชัด

สาเหตุที่ทำให้เกิดความแปรผันระหว่างหน่วยทดลองที่ได้รับทรีทเมนต์ชนิดเดียวกัน ประกอบด้วย ความแปรผันที่มีอยู่ก่อนแล้วในหน่วยทดลอง หรือความแปรผันสืบทอด หรือความแปรผันถาวร เป็นความแปรผันเนื่องจากหน่วยทดลองที่ใช้กับทรีทเมนต์เพราะหน่วยทดลองแต่ละหน่วยจะมีความแปรผันระหว่างหน่วยทดลองอยู่แล้วก่อนทำการทดลอง เช่น สัตว์อาจมีอายุ เพศ หรือน้ำหนักเมื่อมีการทดลองแตกต่างกัน เมล็ดพันธุ์พืชที่นำมาปลูกแม้ว่าจะเป็นพันธุ์เดียวกันและได้จากต้นแม่เดียวกันอาจมีลักษณะพันธุกรรมไม่เหมือนกัน ความแปรผันนี้มีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ในการทดลอง วัสดุที่ใช้ในการทดลองที่เป็นสิ่งมีชีวิต มักจากความแปรผันมากกว่าวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่เน่สิ่งไม่มีชีวิต ถ้าผู้ทดลองสามารถควบคุมความแปรผันนี้ได้จะช่วยให้ความคลาดเคลื่อนลดลงซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการทดลองเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังเกิดจากความแปรผันที่เกิดขึ้นขณะทำการทดลอง หรือความแปรผันภายนอก หรือความแปรผันชั่วคราว ซึ่งเป็นความแปรผันเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอในการทดลองได้แก่ ความแปรผันเนื่องจากสิ่งแวดล้อม เช่น ปริมาณน้ำฝน ความเข้มของแสง ความเร็วของลม ได้รับในปริมาณที่ไม่เท่ากันหรือความไม่สม่ำเสมอในการปฏิบัติงาน เช่น การใส่ปุ๋ย การให้น้ำ การเตรียมดิน การฉีดยาปราบศัตรูพืช กระทบไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งแปลง เนื่องจากความคลาดเคลื่อนในการทดลองมีผลต่อกำลังการทดสอบและขนาดของห้วงความเชื่อมั่น ถ้าความคลาดเคลื่อนสูงจะทำให้การทดสอบต่ำ และขนาดของห้วงความเชื่อมั่นกว้างแต่ถ้าความคลาดเคลื่อนต่ำจะทำให้การทดสอบสูง และขนาดของห้วงความเชื่อมั่นแคบ ดังนั้นจึงพยายามที่จะลดความคลาดเคลื่อนในการทดลองให้น้อยลงเท่าที่จะทำได้โดยลดความแปรผันทั้ง 2 แหล่งที่กล่าวมาแล้ว

การลดความคลาดเคลื่อนในการทดลองประกอบด้วย 1) การทำซ้ำ (Replication) คือ การใช้ทรีทเมนต์เดิมทดลองซ้ำหรือกระทำซ้ำแก่หน่วยทดลองตั้งแต่ 2 หน่วยขึ้นไป ดังนั้นจำนวนครั้งของการทดลองในแต่ละทรีทเมนต์ก็คือจำนวนหน่วยทดลองในแต่ละทรีทเมนต์นั่นเอง โดยที่แต่ละ

ทรีทเมนต์จะมีจำนวนซ้ำเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ การวิเคราะห์ความแปรปรวนที่มีจำนวนซ้ำหลายๆซ้ำ ก็เพื่อให้การทดลองที่ได้มีความถูกต้องเที่ยงตรงมากที่สุด ซึ่งจำนวนซ้ำจะมากหรือน้อยไหนก็ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม นอกจากนี้การทำซ้ำจะช่วยให้ผู้ทดลองสามารถประเมินค่าความคลาดเคลื่อนได้ และช่วยเพิ่มความไว (Sensitive) ในการวัดความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์ทำให้การสรุปผลการทดลองได้กว้างขวางมากขึ้น 2) การสุ่ม (Randomization) การสุ่มทรีทเมนต์ให้แก่หน่วยทดลองได้มีโอกาสเท่าๆ กัน ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดความเอนเอียงหรืออคติ การสุ่มจะช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการทดลองได้ค่อนข้างมาก 3) การบล็อก (Blocking) คือการจัดหน่วยทดลองที่มีความคล้ายคลึงกันหรือเหมือนกันให้อยู่ในบล็อกเดียวกันหรือกลุ่มเดียวกัน เพื่อให้มีความแปรปรวนภายในบล็อกเดียวกันน้อยที่สุด แต่หน่วยทดลองที่อยู่ต่างบล็อกกันจะมีความแตกต่างกันมากที่สุดเพื่อให้มีความแปรปรวนระหว่างบล็อกมากที่สุด ในการวางแผนแบบสุ่มระหว่างบล็อกสมบูรณ์ บล็อกก็คือซ้ำของการทดลองนั่นเอง 4) ควบคุมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง เพื่อให้มีความแปรผันถาวรน้อยที่สุด 5) ปรับปรุงวิธีการทดลองให้ดีขึ้น และเพิ่มความละเอียดของการทดลองให้มากขึ้น โดยการควบคุมปัจจัยที่อาจจะส่งผลกระทบต่อหน่วยทดลองที่ให้ความสม่ำเสมอมากขึ้นในการทดลองถ้าผู้ทดลองกระทำด้วยความละเอียดทั่วทั้งแปลงจะช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการทดลองได้ และ 6) เลือกการวางแผนแบบการทดลองที่เหมาะสมกับทรีทเมนต์ที่มีอยู่และการวางแผนแบบการทดลองแต่ละแบบจะมีข้อดีข้อเสีย และข้อจำกัดแตกต่างกัน ผู้ทดลองจำเป็นต้องเลือกการวางแผนแบบการทดลองที่เหมาะสมกับทรีทเมนต์ที่มีอยู่จะช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการทดลองได้ค่อนข้างมาก

2.1.4.6 การทดสอบสมมติฐานเชิงสถิติ

การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) เป็นส่วนหนึ่งของสถิติเชิงอนุมาน (Statistical Inference) ซึ่งเป็นการทดสอบเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า โดยสุ่มตัวอย่างจากประชากรแล้วอาศัยการแจกแจงของตัวสถิติ สร้างสถิติทดสอบเกี่ยวกับพารามิเตอร์นั้นๆ (รองศาสตราจารย์สายชล สิ้นสมบูรณ์ทอง, 2558a) ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าใดๆ จึงควรรู้จักความหมาย ประกอบด้วย

สมมติฐาน คือ ความเชื่อหรือคำกล่าวอ้างยืนยันเกี่ยวกับลักษณะของประชากร ซึ่งอาจมีเพียงประชากรเดียวหรือหลายประชากรก็ได้

สมมติฐานที่จะทดสอบ เรียกว่า สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) เขียนแทนด้วย H_0 สมมติฐานที่แย้งกับสมมติฐานหลักและนำมาพิจารณาในการทดสอบด้วย เรียกว่า สมมติฐานแย้ง

บริเวณยอมรับ (Acceptance Region) คือบริเวณที่ทำให้เกิดการยอมรับ H_0 ส่วน บริเวณปฏิเสธ (Rejection Region) หรือบริเวณวิกฤต (Critical Region) คือบริเวณที่ทำให้เกิดการปฏิเสธ H_0

ผลการตัดสินใจจากการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากสมมติฐานที่จะทดสอบ (H_0) เป็นความเชื่อ หรือคำยืนยันเกี่ยวกับลักษณะของประชากรซึ่งยังไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นจริงหรือเท็จ จนกว่าจะทำการพิสูจน์โดยเก็บรวบรวม ข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ตามลักษณะของประชากรที่ต้องการพิสูจน์นั้น ซึ่งบางครั้งการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมดจากประชากรเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก เพราะต้องเสียค่าใช้จ่าย และเวลามาก จึงทำได้เพียงการสำรวจจากตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบ เท่านั้นเอง ดังนั้นผลการตัดสินใจจากการทดสอบ สมมติฐานใดๆ สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 2.1 โดยผลการทดสอบไม่ว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานหลัก ย่อมอาจมีความผิดพลาด เกิดขึ้นได้ 2 กรณีเสมอ คือ การปฏิเสธ H_0 เมื่อ H_0 เป็นจริง เรียกว่า ความผิดพลาดประเภทที่ 1 และการยอมรับ H_0 เมื่อ H_0 เป็นเท็จ เรียกว่า ความผิดพลาดประเภทที่ 2

ตารางที่ 2.1 ผลการตัดสินใจจากการทดสอบสมมติฐาน

| การตัดสินใจ | ข้อเท็จจริง | |
|--------------|------------------------|------------------------|
| | H_0 เป็นจริง | H_0 เป็นเท็จ |
| ปฏิเสธ H_0 | ความผิดพลาดประเภทที่ 1 | ตัดสินใจถูก |
| ยอมรับ H_0 | ตัดสินใจถูก | ความผิดพลาดประเภทที่ 2 |

ขนาดของความผิดพลาดประเภทที่ 1 (Size of a type I error) คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 เขียนแทนด้วย α เราเรียกว่า ระดับนัยสำคัญ (Level of significant) และขนาดของความผิดพลาดประเภทที่ 2 (Size of a type II error) คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 2 แทนด้วย β และเรียก $1 - \beta$ ว่ากำลังของการทดสอบ (Power of the test)

$$\alpha = P(\text{ความคลาดเคลื่อนชนิดที่ 1}) \quad \dots(1)$$

$$= P(\text{ปฏิเสธ } H_0 \mid H_0 \text{ เป็นจริง})$$

$$\beta = P(\text{ความคลาดเคลื่อนชนิดที่ 2}) \quad \dots(2)$$

$$= P(\text{ปฏิเสธ } H_0 \mid H_0 \text{ เป็นเท็จ})$$

$$1 - \beta = P(\text{ปฏิเสธ } H_0 \mid H_0 \text{ เป็นเท็จ}) \quad \dots(3)$$

ในการทดสอบสมมติฐานผู้ทดสอบต้องพยายามควบคุมความผิดพลาดทั้งสองประเภทให้มีโอกาสเกิดขึ้นน้อยที่สุดแต่ขนาดของความผิดพลาดสองประเภทยังขึ้นกัน กล่าวคือ ถ้า α มีค่ามากแล้ว β จะมีค่าน้อย การควบคุมความผิดพลาดทั้งสองประเภทยังสามารถลดลงได้ถ้าเพิ่มขนาดตัวอย่างให้มากขึ้น และในการทดสอบสมมติฐานใดๆ เราจะยอมรับว่าสมมติฐานหลักเป็นจริง ก่อนจึงทำการสุ่ม ตัวอย่างและคำนวณค่าสถิติที่ได้จากตัวอย่างที่สุ่ม ถ้าค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบนั้น

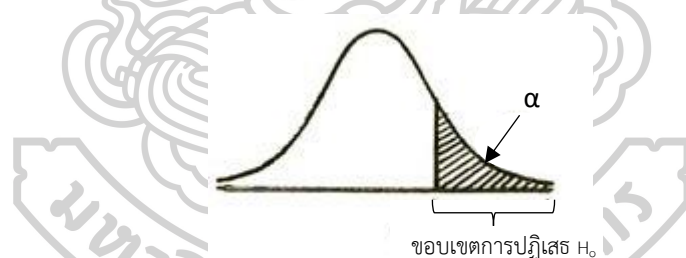
แตกต่างจากพารามิเตอร์ที่กำหนดใน H_0 มากเพียงพอที่จะปฏิเสธ H_0 เราจึงจะปฏิเสธ H_0 หรือกล่าวว่าเป็นการแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาความแตกต่างดังกล่าว จะพบว่ามี 2 แบบคือ 1) แตกต่างอย่างมีทิศทาง คือ ค่าพารามิเตอร์ที่แท้จริงมากกว่าค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดใน H_0 และอีกกรณี คือ ค่าพารามิเตอร์ที่แท้จริงน้อยกว่าค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดใน H_0 และ 2) แตกต่างแบบไม่มีทิศทาง คือ ค่าพารามิเตอร์ที่แท้จริงมีค่าไม่เท่ากับค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดใน H_0 โดยความแตกต่างทั้ง 2 แบบนี้จะเขียนอยู่ในสมมติฐานแย้ง (H_1) ถ้าทดสอบสมมติฐาน แบบมีทิศทางจะเรียกว่าการทดสอบแบบทางเดียว แต่ถ้าทดสอบสมมติฐาน แบบไม่มีทิศทางจะ เรียกว่า การทดสอบแบบสองทาง

การทดสอบแบบทางเดียว (One - Tailed Test) ให้ θ เป็นพารามิเตอร์ที่ต้องการทดสอบและให้ θ_0 เป็นค่าคงที่ที่ต้องการทดสอบหรือเป็นค่าพารามิเตอร์ที่คาดหวังไว้นั้นเองสมมติฐานที่จะทดสอบอยู่ในลักษณะ

$$H_0 : \theta = \theta_0 \quad \dots(4)$$

$$H_1 : \theta > \theta_0 \quad \dots(5)$$

เมื่อยอมรับว่า H_0 เป็นจริงก่อน บริเวณปฏิเสธ H_0 จะอยู่ปลายทางขวาของการแจกแจงของตัวสถิติที่ใช้ทดสอบ ($\hat{\theta}$) (ดังภาพที่ 2.12)



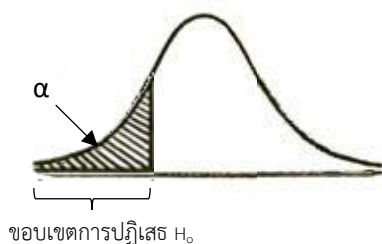
ภาพที่ 2.12 บริเวณวิกฤตของการทดสอบจะอยู่ด้านขวาและมีค่าเป็นบวก

ที่มา : (วิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัย, 2562)

$$H_0 : \theta = \theta_0 \quad \dots(6)$$

$$H_1 : \theta < \theta_0 \quad \dots(7)$$

เมื่อยอมรับว่า H_0 เป็นจริงก่อน บริเวณปฏิเสธ H_0 จะอยู่ปลายทางด้านซ้ายของการแจกแจงของตัวสถิติที่ใช้ทดสอบ ($\hat{\theta}$) (ดังภาพที่ 2.13)



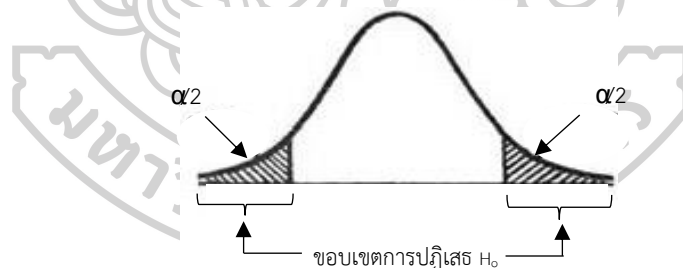
ภาพที่ 2.13 บริเวณวิกฤตของการทดสอบจะอยู่ด้านขวาและมีค่าเป็นบวก
ที่มา : (วิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัย, 2562)

การทดสอบแบบทางสองทาง (Two - Tailed Test) ให้ θ เป็นพารามิเตอร์ที่ต้องการทดสอบ และให้ $\theta < \theta_0$ เป็นค่าคงที่ที่ต้องการทดสอบหรือเป็นค่าพารามิเตอร์ที่คาดหวังไว้ สมมติฐานที่จะทดสอบจะอยู่ในลักษณะ

$$H_0 : \theta = \theta_0 \quad \dots(8)$$

$$H_1 : \theta \neq \theta_0 \quad \dots(9)$$

เมื่อยอมรับว่า H_0 เป็นจริงก่อน บริเวณปฏิเสธ H_0 จะอยู่ปลายทางทั้งสองข้างของการแจกแจงของตัวสถิติที่ใช้ทดสอบ (θ) (ดังภาพที่ 2.14)



ภาพที่ 2.14 บริเวณวิกฤตของการทดสอบจะอยู่ด้านซ้ายและขวามีค่าเป็นได้ทั้งบวกและลบ
ที่มา : (วิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัย, 2562)

ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน ประกอบด้วย

ขั้นตอนที่ 1 ตั้งสมมติฐานหลัก (H_0) และสมมติฐานทางเลือก (H_1) ให้มีความหมายตรงข้ามกันเสมอ

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดระดับนัยสำคัญ

ขั้นตอนที่ 3 เลือกตัวสถิติทดสอบที่เหมาะสม แล้วหาจุดวิกฤตเพื่อกำหนดบริเวณปฏิเสธ H_0 ให้ สอดคล้องกับ H_0 และ α

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่าสถิติที่ใช้ทดสอบจากตัวอย่างขนาด n ที่สุ่มมา

ขั้นตอนที่ 5 ตัดสินใจยอมรับหรือปฏิเสธ H_0 โดยพิจารณาจากเงื่อนไขถ้า

ค่าสถิติทดสอบที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 4 ตกอยู่ในบริเวณยอมรับ เราจะตัดสินใจยอมรับ H_0 แต่หากตกอยู่บริเวณปฏิเสธ จะตัดสินใจปฏิเสธ H_0

ขั้นตอนที่ 6 สรุปผล

2.1.4.7 ค่า P-value

ในวิชาสถิติว่าด้วยการทดสอบสมมติฐาน ค่า P-value หรือค่าความน่าจะเป็น (Probability Value) คือสัดส่วนของความน่าจะเป็นที่ข้อสรุปหนึ่งทางสถิติ (เช่นความแตกต่างระหว่างมัธมิมของตัวอย่างสองกลุ่ม) จะมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าค่าจากการสังเกต (Observed Value) ในกรณีที่สมมติฐานว่าเป็นจริง (Ronald L. Wasserstein & Nicole A. Lazar, 2016) ค่า P มักถูกใช้เพื่อทดสอบสมมติฐานทางสถิติในงานวิจัยสาขาต่างๆ (Bhaskar Bhattacharya & Desale Habtzghi, 2002)

การใช้ค่า P ในบริบทของการพิสูจน์สมมติฐานนั้น ใช้เพื่อทดสอบสมมติฐานว่างเพื่อหาว่าหลักฐานหนึ่งๆ มีนัยสำคัญทางสถิติมากน้อยเพียงใด ซึ่งการใช้สมมติฐานว่างนี้เป็นการประยุกต์แนวคิดพิสูจน์ด้วยหลักการแบบ Reduction ad Absurdum มาใช้ในทางสถิติ หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือ คำอ้างหนึ่ง ๆ จะเป็นที่น่าเชื่อถือ ถ้าคำอ้างที่ค้านคำอ้างนั้น ไม่น่าเป็นไปได้ ดังนั้นสมมติฐานหรือคำอ้างค้านในที่นี้ก็คือสมมติฐานว่าง ซึ่งเป็นสมมติฐานที่ต้องนิยามให้ชัดเจนในการพิสูจน์ ผลการวิจัยหนึ่ง ๆ จะมีนัยสำคัญทางสถิติ ถ้ามันทำให้เราสามารถปฏิเสธสมมติฐานว่างได้ ผลการวิจัยที่มีนัยสำคัญทางสถิติควรมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมากๆ หากสมมติให้สมมติฐานว่างเป็นจริง เช่นนั้นแล้วเราก็จำเป็นต้องปฏิเสธสมมติฐานว่าง ทำให้สมมติฐานที่จะเป็นจริงได้ ก็คือสมมติฐานอื่นที่ไม่ใช่สมมติฐานว่าง อย่งไรก็ดี ถ้าสมมติฐานทางเลือกไม่ได้มีสมมติฐานเดียว ลำพังเฉพาะการสามารถปฏิเสธสมมติฐานว่างได้ ไม่ได้บอกเราว่าสมมติฐานทางเลือกอื่นๆ นั้น อันไหนเป็นสมมติฐานที่ถูกต้อง

2.1.4.8 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ที่เกี่ยวข้องในการทดลองต้องมีความเข้าใจอย่างถ่องแท้ล่วงหน้าว่ากำลังศึกษาอะไรอยู่ จะเก็บข้อมูลอย่างไร และจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บนั้นอย่างไร ซึ่งขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง (Montgomery, 2001) มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดหัวข้อปัญหา (Problem Statement) จะต้องชัดเจน เข้าใจได้ง่ายและเป็นรูปธรรม ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 อย่าง อะไรที่กำลังเป็นปัญหา (What) ลักษณะของปัญหาเป็นเช่นไรขนาดไหน (How) และพบปัญหานั้นที่ไหนช่วงเวลาใด (Where)

ขั้นตอนที่ 2 การเลือกปัจจัย (Factor) และการกำหนดระดับของปัจจัย (Treatment) จำเป็นที่จะต้องเลือกปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอย่างแท้จริง ซึ่งสามารถเลือกจากกรรมวิธีคัดกรองโดยเครื่องมือทางสถิติ จำพวก Univariate เช่น T-Test เป็นต้น ผู้ที่มีความรู้หรือเชี่ยวชาญในกระบวนการนั้นๆ ก็เป็นผู้ที่สามารถให้คำแนะนำที่ดีในการเลือกปัจจัย และการกำหนดระดับของปัจจัยด้วย

ขั้นตอนที่ 3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response) จะต้องเน้นตัวแปรที่สามารถวัดได้ ทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัดและวัดด้วยกระบวนการวัดอื่นๆ เช่น การนับ และจะต้องเป็นตัวแปรที่สื่อถึงกระบวนการที่เราต้องการศึกษานั้นได้ดีด้วย

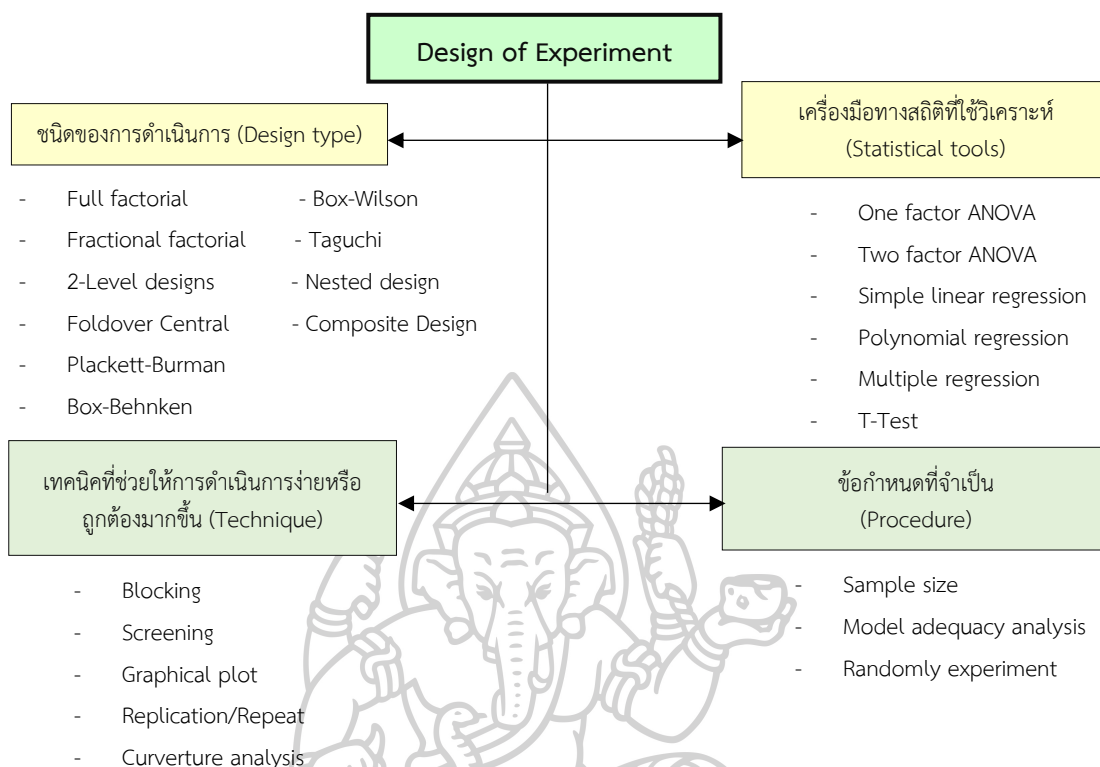
ขั้นตอนที่ 4 เลือกแบบทดลอง (Experiment Design) เช่น การกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่าง วิธีการเลือกสิ่งตัวอย่าง วางแผนการทำการทดลอง วิธีการบันทึกผลการทดลอง และการกำหนดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 5 ดำเนินการทดลอง (Perform the Experiment) ให้เป็นไปตามแผนการ ทั้งวิธีการดำเนินการ ความถูกต้องในการวัด การควบคุมตัวแปรในการทดลอง และเก็บผลการทดลอง

ขั้นตอนที่ 6 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) ไม่ใช่แค่การ Run Computer Program เพื่อให้ได้ผลออกมาเท่านั้น แต่รวมถึงการตรวจสอบ ลักษณะและคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง การพิสูจน์ทราบความถูกต้องของ Model ที่ได้ (Model Adequacy Checking) หาค่าระดับนัยสำคัญของอิทธิพลของแต่ละปัจจัย โดยควรนำเอาวิธีการทางสถิติมาใช้ในการทดลอง

ขั้นตอนที่ 7 สรุปผลการทดลองและให้ข้อเสนอแนะ เมื่อได้มีการวิเคราะห์ข้อมูลเสร็จแล้ว ผู้ทดลองจะต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติและนำเสนอแนะแนวทางของกิจกรรมที่จะเกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้จะนำเอาวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วย นอกจากนี้แล้วการทำการทดลองเพื่อยืนยันผลควรจะทำขึ้นเพื่อที่จะทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกด้วย

ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง แสดงแผนผังดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 แผนผังขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง
ที่มา : (Geocities, 2009)

2.1.4.9 ชนิดและรูปแบบของการทดลอง

รูปแบบของการออกแบบการทดลองนั้นมีให้พิจารณาหลายแบบเพื่อให้ผู้ทำการวิจัยได้เลือกใช้สำหรับการทดลอง โดยแนวทางการคัดเลือกว่าจะนำรูปแบบการทดลองแบบไหนมาใช้ขึ้นขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัยซึ่งมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ซึ่งตารางที่ 2.2 แสดงถึงรูปแบบการทดลองที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

ตารางที่ 2.2 รูปแบบของการออกแบบการทดลองที่นิยมใช้

| รูปแบบ | ลักษณะของการทดลอง | เวลาที่ใช้ | ความแม่นยำ | งบประมาณ |
|------------------|---|------------|------------|----------|
| Single Factor | ทำการทดลองสำหรับ 1 ปัจจัย | รวดเร็ว | ปานกลาง | น้อย |
| Factorial Design | ทำการทดลองที่มากกว่า 1 ปัจจัย เต็มรูปแบบ | ใช้เวลามาก | มากที่สุด | มาก |

ตารางที่ 2.2 รูปแบบของการออกแบบการทดลองที่นิยมใช้ (ต่อ)

| รูปแบบ | ลักษณะของการทดลอง | เวลาที่ใช้ | ความแม่นยำ | งบประมาณ |
|------------------|---|------------|------------|----------|
| 2^k Design | ทำการทดลองที่มากกว่า 1 ปัจจัย เต็มรูปแบบ กำหนดระดับของปัจจัยอยู่ที่ 2 ระดับ | ปานกลาง | ปานกลาง | ปานกลาง |
| 2^{k-p} Design | ทำการทดลองที่มากกว่า 1 ปัจจัย แต่ละครุ | รวดเร็ว | น้อย | น้อย |
| 3^k Design | ทำการทดลองที่มากกว่า 1 ปัจจัย เต็มรูปแบบ กำหนดระดับของปัจจัยอยู่ที่ 3 ระดับ | ใช้เวลามาก | มากที่สุด | มาก |

ที่มา : (บุญชัย แซ่สัว & ณัฐธยาน์ โสกุล, 2559)

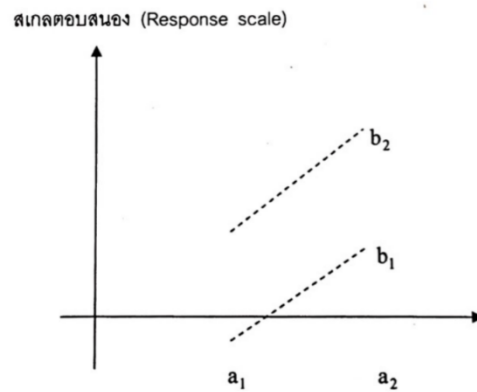
2.1.4.10 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Experiment of Factorial Design)

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Experiment of Factorial Design) เป็นการทดลองที่ทรีทเมนต์ประกอบด้วยแฟคเตอร์ ตั้งแต่ 2 แฟคเตอร์ ขึ้นไปมารวมกันในรูปของทรีทเมนต์คอมบิเนชัน (Treatment Combination) การทดลองแฟคทอเรียลจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยกำหนด (Fixed Factor) และปัจจัยสุ่ม (Random Factor) สัญลักษณ์ที่ใช้แทนปัจจัยจะใช้อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ A, B, C,...

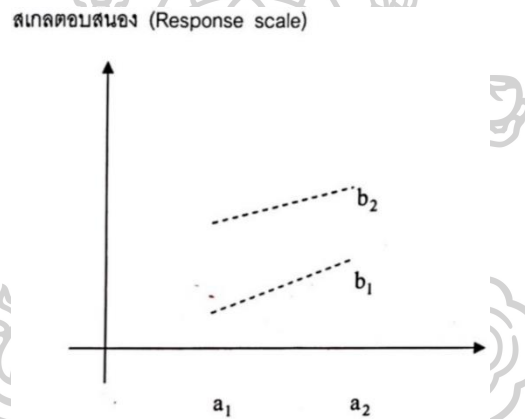
การทดลองแบบแฟคทอเรียลเป็นการทดลองหลายปัจจัย (Multi-Factor Experiment) เช่น การทดลองเปรียบเทียบพันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ โดยการใส่ปุ๋ยกับไม่ใส่ปุ๋ยในโตรเจน การทดลองนี้มีสองปัจจัย (Factor) แต่ละปัจจัยมีสองระดับ (Level) การทดลองนี้เป็นแบบแฟคทอเรียลขนาด 2×2 ที่มีการรวมกันของระดับต่างๆ ของสองปัจจัย เรียกว่า ทรีทเมนต์คอมบิเนชัน (Treatment Combination) ได้ทั้งหมด 4 ทรีทเมนต์คอมบิเนชัน สำหรับการทดลองแฟคทอเรียลที่มีหลายปัจจัยศึกษาพร้อมกันในการทดลองเดียวกัน จะมีข้อดีที่ทำให้ทราบถึงอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของแต่ละปัจจัย และอิทธิกร่วม (Interaction Effect) ระหว่างปัจจัยด้วย

อิทธิพลหลัก (Main Effect) หมายถึง อิทธิพลของปัจจัยที่เมื่อระดับของปัจจัยเปลี่ยนไป จะทำให้ผลที่ได้จากการทดลองเปลี่ยนไปด้วย อิทธิพลหลักหาได้จากการเฉลี่ยผลบวกค่าอิทธิพลอย่างง่าย สัญลักษณ์ที่ใช้แทนอิทธิพลหลักจะใช้อักษร A, B, C,

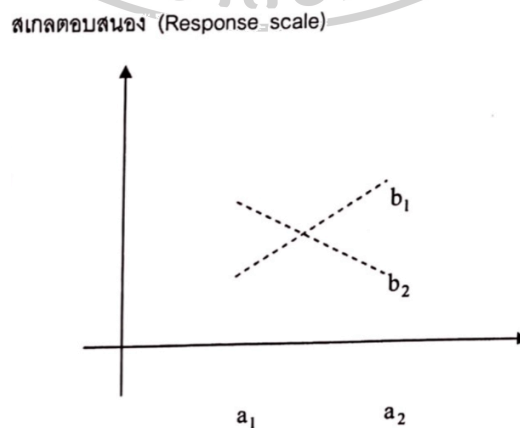
อิทธิกร่วม หรือปฏิสัมพันธ์ของปัจจัย (Interaction Effect) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงในอิทธิพลของปัจจัยหนึ่งที่เกิดขึ้นเมื่อระดับของปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงไป ปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยหาได้จากการเฉลี่ยผลต่างค่าอิทธิพลอย่างง่าย สามารถแสดงปฏิสัมพันธ์ของ AB ได้ดังภาพที่ 2.16-2.18)



ภาพที่ 2.16 ปฏิสัมพันธ์ของ AB ไม่มีเกิดขึ้น
ที่มา : (รองศาสตราจารย์สายชล สินสมบูรณ์ทอง, 2558a)



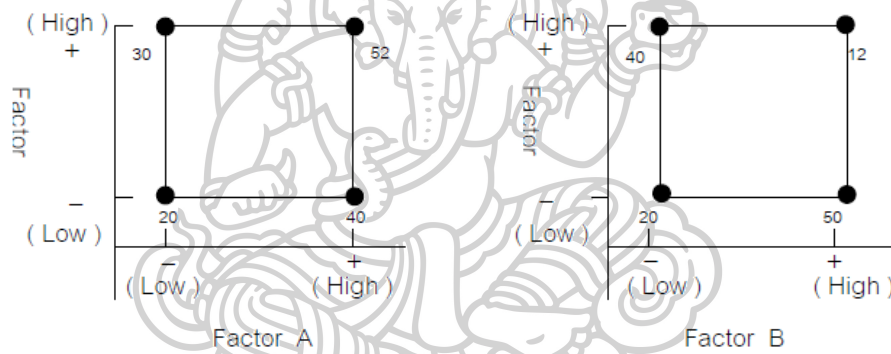
ภาพที่ 2.17 ปฏิสัมพันธ์ของ AB มีเกิดขึ้นซึ่งเกิดจากขนาดของการตอบสนองต่างกัน
เมื่อเปลี่ยนระดับของอีกปัจจัยหนึ่ง
ที่มา : (รองศาสตราจารย์สายชล สินสมบูรณ์ทอง, 2558a)



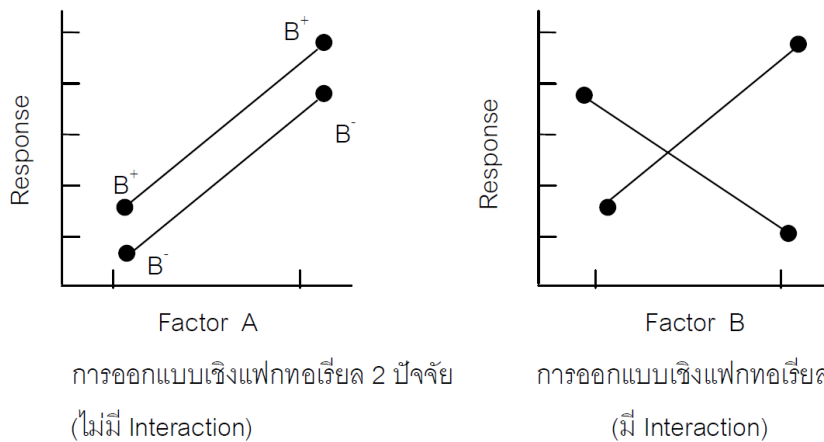
ภาพที่ 2.18 ปฏิสัมพันธ์ของ AB มีเกิดขึ้นซึ่งเกิดจากความแตกต่างในทิศทางของการตอบสนอง
ที่มา : (รองศาสตราจารย์สายชล สินสมบูรณ์ทอง, 2558a)

การจัดกลุ่มของทรีทเมนต์ (Treatment Combination) หมายถึงการจัดกลุ่มของทรีทเมนต์ของการทดลองแบบแฟคทอเรียลจะเป็นการจัดกลุ่มของระดับต่างๆ ของปัจจัยที่สนใจศึกษา สัญลักษณ์ที่ใช้แทนระดับของปัจจัยคือ $a_1, a_2, \dots; b_1, b_2, \dots; c_1, c_2, \dots$ ดังนั้นการจัดกลุ่มของทรีทเมนต์อาจจะเป็น $a_1b_2c_3, a_2b_1c_3$ เป็นต้น การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ ได้แก่

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย เป็นการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลชนิดที่ง่ายที่สุด จะเกี่ยวข้องกับปัจจัย 2 ปัจจัย (แสดงดังภาพที่ 2.19) และเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล ปัจจัยเหล่านั้นจะมีการไขว้ (Crossed) ซึ่งกันและกัน (แสดงดังภาพที่ 2.20) (วิทยา สุมะลี, 2559) และ (บุญชัย แซ่ลี้ & ธีรชยาน์ โสกุล, 2559)



ภาพที่ 2.19 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย



การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย (ไม่มี Interaction)

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล (มี Interaction)

ภาพที่ 2.20 รูปแบบของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล

รูปแบบเชิงเส้นของการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองปัจจัย โดยปัจจัย A มี a ระดับ และปัจจัย B มี b ระดับที่ใช้แผนการทดลองแบบ CRD ทำ r ซ้ำ

การทดลองแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย ในแผน CRD แสดงตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้

$$Y_{ijk} = \mu + A_1 + B_1 + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad \text{.....(10)}$$

เมื่อ

$$Y_{ijk} = \text{ค่าสังเกตแต่ละค่า}$$

$$i = 1, \dots, a \quad (a = \text{จำนวนระดับของปัจจัย A})$$

$$j = 1, \dots, b \quad (b = \text{จำนวนระดับของปัจจัย B})$$

$$k = 1, \dots, r \quad (r = \text{จำนวนซ้ำ})$$

$$\mu = \text{ค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ทั้งหมดในการทดลอง}$$

$$A_1 = \text{อิทธิพลหลักของปัจจัย A}$$

$$B_1 = \text{อิทธิพลหลักของปัจจัย B}$$

$$(AB)_{ij} = \text{ปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย A และ B}$$

$$\epsilon_{ijk} = \text{ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง}$$

การทดลองแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย ในแผน RCB แสดงตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้

$$Y_{ijk} = \mu + R_k + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad \text{.....(11)}$$

เมื่อ R เป็นอิทธิพลของบล็อก ส่วนค่าอื่นๆ เช่นเดียวกับแผน CRD

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองที่มี 2 ปัจจัย เมื่อปัจจัย A และ B เป็นแบบกำหนด แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองที่มี 2 ปัจจัย

| Source | df | SS | MS | F |
|-----------|------------|----------|--------|------------|
| Treatment | ab-1 | SST | MST | MST/MSE |
| A | a-1 | SS(A) | MS(A) | MS(A)/MSE |
| B | b-1 | SS(B) | MS(B) | MS(B)/MSE |
| AB | (a-1)(b-1) | SS(AB) | MS(AB) | MS(AB)/MSE |
| Error | ab(r-1) | SSE | MSE | |
| Total | abr-1 | Total SS | | |

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k คือ มีจำนวนปัจจัย k ปัจจัย และแต่ละปัจจัยมีเพียง 2 ระดับ โดยที่ระดับของปัจจัยเหล่านั้นอาจเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ 2 ระดับ ความดัน 2 ระดับ หรือระยะเวลา 2 เวลา หรือระดับของปัจจัยอาจเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ เช่น เครื่องจักร 2 เครื่อง ผู้ปฏิบัติงาน 2 คน ระดับสูงและระดับต่ำของปัจจัยหนึ่งหรือการมีและการไม่มีของปัจจัยหนึ่งจำนวนซ้ำที่สมบูรณ์ของการวางแผนเช่นนี้จำเป็นต้องมีค่าสังเกตจำนวน $2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$ ค่า จึงเรียกว่า การวางแผนแบบ 2^k แฟคทอเรียล (2^k Factorial Design) ซึ่งการวางแผนแบบ 2^k แฟคทอเรียล เป็นประโยชน์ในระยะเริ่มต้นของการทดลอง เมื่อทำการตรวจสอบปัจจัยที่มีอยู่เป็นจำนวนมากเป็นการหาจำนวนรันหรือจำนวนการทดลอง (Run) ที่น้อยที่สุดซึ่งสามารถศึกษาปัจจัย k ปัจจัย ในการวางแผนแบบแฟคทอเรียลที่สมบูรณ์ได้ ดังนั้นการวางแผนเหล่านี้ใช้อย่างกว้างขวางในการทดลองคัดเลือกปัจจัย (Factor Screening Experiments) และเนื่องจากแต่ละปัจจัยมีเพียง 2 ระดับ จะต้องสมมติว่าผลตอบสนองเป็นเชิงเส้นโดยประมาณในขอบเขตของระดับปัจจัยที่ถูกเลือกมาทดลอง ในการทดลองคัดเลือกปัจจัยจำนวนมาก เมื่อเริ่มต้นศึกษากระบวนการหรือระบบ กระบวนการหรือระบบจะต้องเป็นไปตามข้อสมมติเบื้องต้น วิธีการง่ายๆ สำหรับการตรวจสอบข้อสมมติเบื้องต้นนี้คือการเพิ่มจุดศูนย์กลางในการวางแผนแบบ 2^k แฟคทอเรียล โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล

| Source of Variation | Sum of Square | Degree of Freedom |
|---|---------------|-------------------|
| k main effect | | |
| A | SS_A | 1 |
| B | SS_B | 1 |
| . | . | . |
| . | . | . |
| . | . | . |
| K | SS_K | 1 |
| $\left\{ \begin{matrix} k \\ 2 \end{matrix} \right\}$ Two - factor interactions | | |
| AB | SS_{AB} | 1 |
| . | . | . |
| . | . | . |
| . | . | . |

ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล (ต่อ)

| Source of Variation | Sum of Square | Degree of Freedom |
|---|----------------|-------------------|
| JK | SS_{JK} | 1 |
| $\left\{ \begin{matrix} k \\ 2 \end{matrix} \right\}$ Three - factor interactions | | |
| ABC | SS_{ABC} | 1 |
| . | . | . |
| . | . | . |
| . | . | . |
| IJK | SS_{IJK} | 1 |
| . | . | . |
| . | . | . |
| . | . | . |
| $\left\{ \begin{matrix} k \\ k \end{matrix} \right\} = 1$ k - factor interactions | | |
| ABC...K | $SS_{ABC...K}$ | 1 |
| Error | SS_E | $2^k(n-1)$ |
| Total | SS_T | $n2^k - 1$ |

ที่มา : (รองศาสตราจารย์สายชล สิ้นสมบุญทอง, 2558b)

การวางแผนแบบเศษส่วนของ 2^k แฟคทอเรียล ประกอบด้วยหน่วยทดลอง 2^{k-p} ค่าเรียกว่าเศษส่วน $\frac{1}{2^p}$ ของการวางแผน 2^k แฟคทอเรียล หรือการวางแผนแบบเศษส่วนของ 2^{k-p} แฟคทอเรียล การวางแผนเหล่านี้จำเป็นต้องเลือกตัวก่อกำเนิดที่เป็นอิสระกัน p ตัว ตัวยุทธ ความสัมพันธ์สำหรับการวางแผนประกอบด้วยตัวก่อกำเนิดที่เลือกตอนเริ่มต้น p ตัว และปฏิสัมพันธ์ทั่วไป $2^p - p - 1$ ตัว ซึ่งโครงสร้างอิทธิพลแฝงอาจจะหาได้โดยการคูณแต่ละอิทธิพล (Column) ด้วยตัวยุทธความสัมพันธ์ ข้อควรระวังคือ ควรจะเลือกตัวก่อกำเนิดเพื่อทำให้อิทธิพลต่างๆ ที่สนใจ ไม่ได้มีอิทธิพลแฝงซึ่งกันและกันในแต่ละอิทธิพลมีอิทธิพลแฝง $2^p - 1$ ตัวสำหรับค่า k ที่มากปานกลาง สมมติว่าปฏิสัมพันธ์อันดับสูงขึ้น (ปฏิสัมพันธ์อันดับที่ 3 และ 4 และสูงกว่านี้) ไม่มีความสำคัญและหาโครงสร้างอิทธิพลแฝงได้ง่าย

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3 ระดับ หรือการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 3^k เป็นการจัดแฟคทอเรียลที่มี k ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ ปัจจัยและปฏิสัมพันธ์จะแทนด้วย

ตัวอักษรตัวใหญ่ เราใช้ระดับของปัจจัยทั้ง 3 ระดับ เป็น ระดับต่ำ ปานกลาง และสูง สัญลักษณ์ที่แตกต่างกัน อาจจะใช้เพื่อแสดงระดับของปัจจัยเหล่านั้น วิธีการหนึ่งคือ ให้แทนระดับของปัจจัยด้วยเลข 0 (ระดับต่ำ) 1 (ระดับปานกลาง) และ 2 (ระดับสูง) ในแต่ละการจัดกลุ่มของทรีทเมนต์ของการวางแผนแบบ 3^k แฟคทอเรียล จะแทนด้วยเลข k หลัก โดยที่เลขหลักแรกแทนระดับของปัจจัย A เลขหลักที่สองแทนระดับของปัจจัย B เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนถึงเลขหลักที่ k แทนระดับปัจจัย K ตัวอย่างเช่น ในการวางแผนแบบ 3^2 แฟคทอเรียล และ 00 แทนการจัดกลุ่มของทรีทเมนต์ที่ปัจจัย A และ B อยู่ที่ระดับต่ำ และเลข 01 แทนการจัดกลุ่มของทรีทเมนต์ที่ปัจจัย A อยู่ที่ระดับต่ำ และ B อยู่ที่ระดับปานกลาง ภาพที่ 2.17 และ 2.18 แสดงรูปร่างของแผนการวางแผนแบบ 3^2 แฟคทอเรียล และ 3^3 แฟคทอเรียล ตามลำดับ โดยการออกแบบการทดลองลักษณะเช่นนี้จะมีข้อดีคือ ไม่มีการเกิดการปนกันหรือติดกันจนแยกไม่ออก ซึ่งจะมีผลให้ปัจจัยที่ได้มีค่าปนกัน หรือเรียกว่าโครงสร้างคู่แฝดแฝงและสามารถวิเคราะห์ปัจจัยหลัก (Main Effect) และความสัมพันธ์ (Interaction) ได้ทั้งหมด รวมถึงการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3 ระดับ มีความถูกต้องแม่นยำสูง แต่มีข้อเสีย คือ ต้นทุนและเวลาที่ใช้สูง แต่ถ้าปัจจัยที่ทำการทดลองมีเพียง 2-3 ปัจจัย การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3 ระดับ เป็นทางเลือกที่ดี เนื่องจากต้นทุนและเวลาที่ใช้ไม่มากนัก โดยให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องแม่นยำมากที่สุด

2.1.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นวิธีการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง ตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป ซึ่งจะเป็นการวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between-group Variance) และความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within-group Variance) ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม เป็นค่าที่เกิดจากความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่างๆ ถ้าค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่างๆ แตกต่างกันไปค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มก็จะมากตามไปด้วย สำหรับความแปรปรวนภายในกลุ่มเป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่า คะแนนแต่ละตัวที่รวบรวมมานั้นภายในแต่ละกลุ่มมีการกระจายมากหรือน้อย ค่าที่คำนวณได้เรียกว่าความคลาดเคลื่อน (ยูทส ไกยวรรณ์, 2546)

ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากร 1 กลุ่ม และ 2 กลุ่ม ตัวสถิติทดสอบที่ใช้คือ Z หรือ T โดยการเลือกใช้ตัวสถิติทดสอบใดขึ้นอยู่กับว่าทราบความแปรปรวนของข้อมูลในประชากรนั้นหรือไม่ ตัวอย่างมีขนาดใหญ่ หรือเล็ก แต่ในกรณีที่มา การศึกษาประชากรมากกว่า 2 กลุ่ม และต้องการทดสอบสมมติฐานว่าค่าเฉลี่ยของประชากรแต่ละกลุ่มนั้นแตกต่างกันหรือไม่จะต้องทดสอบสมมติฐานทีละคู่ เช่นในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากร 3 กลุ่ม จะต้องทำการทดสอบสมมติฐานทีละคู่ จำนวน 3 ครั้ง ดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \quad H_0 : \mu_1 = \mu_3 \quad H_0 : \mu_2 = \mu_3 \quad \dots(12)$$

$$H_0 : \mu_1 \neq \mu_2 \quad H_0 : \mu_1 \neq \mu_3 \quad H_0 : \mu_2 \neq \mu_3 \quad \dots(13)$$

ซึ่งจะทำให้เสียเวลาในการทดสอบสมมติฐานที่ซ้ำซ้อนเป็นอย่างมาก และประการสำคัญ คือเป็นการทำค่าระดับนัยสำคัญมีค่ามากเกินไป ดังนั้นจึงมีการนำเทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกรณีประชากรมากกว่า 2 กลุ่ม (k กลุ่ม) โดยทำการทดสอบเพียงครั้งเดียว เช่น กรณีประชากร 3 กลุ่ม สมมติฐานเชิงสถิติเป็นดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \quad \dots(14)$$

$$H_0 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \quad \text{อย่างน้อย 1 คู่} \quad \dots(15)$$

ถ้าผลการทดสอบสมมติฐานปฏิเสธ H_0 หมายความว่าค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่ที่มีค่าแตกต่างกัน ซึ่งอาจจะเป็น $\mu_1 \neq \mu_2$ หรือ $\mu_1 \neq \mu_3$ หรือ $\mu_2 \neq \mu_3$ หรือ $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ ก็ได้ ซึ่งการทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มใดไม่เท่ากันนั้นเรียกว่าการเปรียบเทียบเชิงพหุ (Multiple Comparison)

ข้อเด่นของ ANOVA คือ สามารถที่จะวิเคราะห์ความแตกต่างของประชากรได้พร้อมกันมากกว่า 2 ประชากร ซึ่งถ้าใช้ T-test จะทำได้มากที่สุดแค่ 2 ประชากรเท่านั้น และสามารถที่จะวิเคราะห์ได้มากกว่า 1 ปัจจัย (Factor) ซึ่ง T-test จะทำได้เพียงปัจจัยเดียวเท่านั้น เช่น อุณหภูมิ (Temperature) ความเร็ว (Speed) ความกด (Pressure) เป็นต้น รวมถึงสามารถใช้วิเคราะห์เพื่อให้เห็นผลกระทบซึ่งกันและกันของปัจจัยต่างๆ (Interaction) ได้อีกด้วย

ข้อกำหนดของ ANOVA กำหนดไว้ว่าข้อมูลแต่ละตัวต้องมีความเป็นอิสระต่อกัน (Independence) มีการกระจายของข้อมูลแบบปกติ (Normal distribution) และต้องมีความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) เท่านั้น

2.1.5.1 ความเป็นอิสระ (Independence)

ความเป็นอิสระ หมายถึง ค่าของข้อมูลที่สังเกตได้ในหนึ่งตัวไม่ส่งผลใดใดกับข้อมูลตัวอื่นๆ ข้อมูลที่มีความเป็นอิสระจะไม่มีความสัมพันธ์กันไม่ว่าทางใดใด ซึ่งจะรวมข้อมูลในทุกความสัมพันธ์ทั้งแบบระหว่าง (Between) และ ภายใน (Within) กลุ่มของสิ่งตัวอย่าง ข้อมูลที่ไม่มีความเป็นอิสระจะมีความลำเอียง (Bias) และทำให้เกิดผลลัพธ์แบบผลบวกปลอมเชิงสถิติ (False Positive) ในการดำเนินงานตามเทคนิคการสุ่มตัวอย่างที่ดี จะช่วยทำให้ข้อมูลที่เกิดมีความเป็นอิสระ ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลไม่เป็นอิสระ คือ ข้อมูลที่สังเกตมีความใกล้เคียงกันในแต่ละครั้ง,

ข้อมูลที่สังเกตมีความใกล้เคียงกันในขอบเขต หรือ ลำดับที่เกิด และข้อมูลที่สังเกตมีความสัมพันธ์กันบางประการ

ผู้วิจัยต้องตรวจสอบความเป็นอิสระในแง่มุมต่างๆ ซึ่งความบกพร่องในเรื่องนี้เพียงเล็กน้อยสามารถมีผลกระทบต่อมั่งระดับนัยสำคัญและพาวเวอร์ของสถิติ F ใน ANOVA ได้มาก นั่นคือทำให้ระดับ α ที่ใช้จริงมีค่าสูงกว่าระดับ α ที่ระบุหลายเท่า

$$R = \frac{MS_b - MS_w}{MS_b + (n-1)MS_w} \quad \dots(16)$$

ความไม่เป็นอิสระของข้อมูลวัดได้ด้วยสหสัมพันธ์ภายในชั้น เมื่อ MS_b และ MS_w เป็นตัวเศษและส่วนในการคำนวณสถิติ F และ n เป็นจำนวนข้อมูลใน 1 กลุ่ม นอกจากนี้ Minitab สามารถทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลด้วยวิธี Chi-Square เพื่อดูความสัมพันธ์ของข้อมูล เพื่อชี้ว่าถ้าการแจกแจงของตัวแปรหนึ่งมีความคล้ายคลึงกับทุกหมู่ของอีกตัวแปรหนึ่งหรือไม่

2.1.5.2 การแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)

การวิจัยบางเรื่องต้องใช้สถิติอ้างอิงในการวิเคราะห์ข้อมูลและทดสอบสมมติฐาน เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่สามารถนำไปใช้อ้างอิงผลการวิจัยต่อไปได้ การใช้สถิติเพื่ออ้างอิงดังกล่าวควรจะต้องทราบด้วยการกระจายของข้อมูลที่ศึกษานั้นมีลักษณะอย่างไร มีการแจกแจงเป็นแบบเส้นโค้งที่สมมาตร (Symmetry) หรือมีความเบ้ (Skewness) หรือไม่ กล่าวคือ ถ้าข้อมูลชุดใดมีการแจกแจงที่สมมาตร เส้นโค้งความถี่จะเป็นรูปประฆังคว่ำ โดยที่เส้นโค้งทางซ้ายและทางขวาจะมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ สัมประสิทธิ์ความเบ้ (Coefficient of Skewness) จะมีค่าเป็นศูนย์ ค่าเฉลี่ยมัธยฐาน และฐานนิยมจะมีค่าเท่ากัน แต่ถ้าข้อมูลมีการแจกแจงที่ไม่สมมาตร โดยมีลักษณะเบ้ไปด้านใดด้านหนึ่ง ค่าเฉลี่ยมัธยฐานและฐานนิยมจะมีค่าไม่เท่ากัน และสัมประสิทธิ์ความเบ้จะมีค่าเป็นลบ ถ้าพื้นที่ใต้โค้งทางด้านซ้ายมีค่ามากกว่าพื้นที่ทางด้านขวา จะเรียกว่า Negative Skewness แต่ถ้าเส้นโค้งมีลักษณะเบ้ขวา สัมประสิทธิ์ความเบ้จะมีค่าเป็นบวก เรียกว่า Positive Skewness ในกรณีพื้นที่ใต้โค้งทางด้านขวามีค่ามากกว่าพื้นที่ทางด้านซ้าย

การแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการแจกแจงแบบเกาส์หรือการแจกแจงแบบเกาส์เซียน (Gaussian Distribution) โดย Karl Pearson เป็นคนแรกที่วิเคราะห์การแจกแจงแบบนี้ในปี คศ. 1893 ซึ่งเป็นการแจกแจงความถี่ของค่าที่วัดเป็นปกติ การแจกแจงแบบนี้มีการนำไปใช้มากที่สุดในการจัดการข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการทางสถิติกับข้อมูลชนิดต่อเนื่องซึ่ง มีค่าอยู่ระหว่าง +3 ถึง -3 โดยไม่สามารถกำหนดได้ว่ามีค่าแน่นอนเท่าใด เพียงแต่ทราบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง +3 ถึง -3 ซึ่งอาจจะมีความหลายค่าที่อยู่ในช่วงดังกล่าว จึงมีความจำเป็นต้องแจกแจง

เพื่อให้ทราบค่าทั้งหมด ซึ่งการแจกแจงปกติมักจะมีพบในเรื่องต่าง ๆ ได้แก่ ผลคะแนน รายได้ ความสูง น้ำหนัก อายุ และช่วงเวลาของสิ่งต่างๆ เป็นต้น เนื่องจากข้อมูลต่อเนื่องของสิ่งต่างๆ ดังกล่าวนี้อาจมีค่าเฉลี่ยอยู่กึ่งกลางๆ โดยมีจำนวนไม่มากที่มีค่าสูงหรือมีค่าต่ำกว่าค่ากลางๆ เมื่อนำค่าทั้งหมดไปเขียนลงกราฟ จะได้เส้นกราฟที่มีจุดสูงสุดอยู่ตรงกลาง โดยมีเส้นโค้งทั้งสองข้างลาดลง คล้ายกับรูประฆังคว่ำซึ่งเรียกว่า เส้นโค้งปกติ (Normal Curve) ที่เกิดจากข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติ เพื่อให้การดำเนินการกับการแจกแจงปกติแบบต่างๆ กันได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแตกต่างกันอย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้มีการพัฒนาการแจกแจงปกติมาตรฐานโดยมีการแจกแจงของคะแนนมาตรฐานด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1 การใช้คุณสมบัติของการแจกแจงปกติดังกล่าวนี้ ทำให้ได้สัดส่วนของคะแนนที่อยู่ระหว่างค่าที่กำหนดให้สองค่าในการแจกแจงเปอร์เซ็นต์ไทล์และเปอร์เซ็นต์ไทล์แรงค์ (Percentile and Percentile Rank) ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากเส้นโค้งของการแจกแจงปกติ

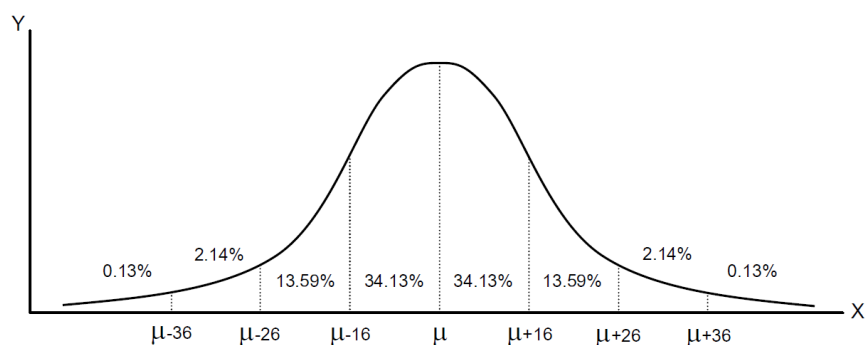
ลักษณะของการแจกแจงแบบปกติ จะต้องมียุทธลักษณะดังนี้ คือ 1) เป็นรูประฆังคว่ำ และมีลักษณะสมมาตร โดยส่วนโค้งทางด้านซ้ายและทางด้านขวาจะมีลักษณะเหมือนกันและเท่ากันทุกประการ ซึ่งแสดงว่าสัมประสิทธิ์ความเบ้จะมีค่าเป็นศูนย์ ส่วนสูงของเส้นโค้ง จะขึ้นอยู่กับความแปรปรวน ถ้าส่วนสูงน้อยและฐานกว้างแสดงว่ามีความแปรปรวนสูงแต่ถ้ามีความแปรปรวนต่ำส่วนสูงจะน้อยและฐานแคบ 2) ค่าเฉลี่ย, มัธยฐาน และ ฐานนิยม มีค่าเท่ากัน 3) ยอดของโค้งจะอยู่ตรงจุดกึ่งกลาง 4) มีพื้นที่ใต้โค้งระหว่างจุด +1 กับจุด -1 ประมาณ 68.27% ระหว่างจุด +2 กับจุด -2 ประมาณ 95.45% และระหว่างจุด +3 กับจุด -3 ประมาณ 99.73% และ 5) สมการของเส้นโค้งปกติได้แก่

$$Y = \frac{N}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad \dots(17)$$

เมื่อ

| | | |
|----------|---|--|
| Y | = | ส่วนสูงของเส้นโค้งเมื่อเขียนบนแกน X |
| N | = | จำนวนข้อมูล |
| σ | = | ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการแจกแจง |
| μ | = | ค่าเฉลี่ยของการแจกแจง |
| X | = | คะแนนดิบ (มีค่าอยู่ระหว่าง $+\infty$ ถึง $-\infty$) |
| π | = | ค่าคงที่ (มีค่าเท่ากับ 3.14159) |
| e | = | ค่าคงที่ (มีค่าเท่ากับ 2.71835) |

ลักษณะเส้นโค้งของการแจกแจงแบบปกติ แสดงดังภาพที่ 2.21



ภาพที่ 2.21 ลักษณะเส้นโค้งของการแจกแจงแบบปกติ

ที่มา : (มนต์ชัย เทียนทอง, 2548)

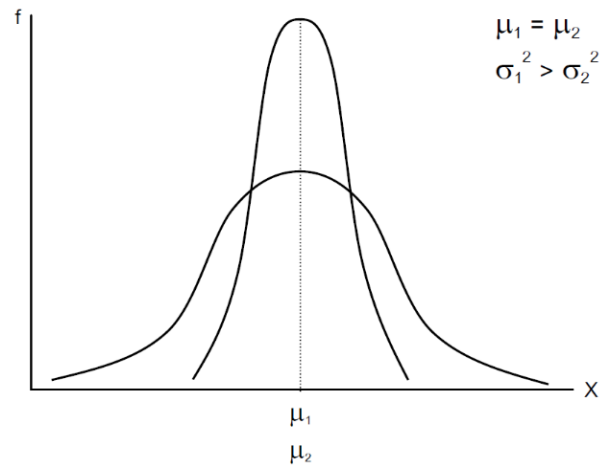
เส้นโค้งปกติสามารถเขียนได้ในรูปของคะแนนมาตรฐาน คะแนนมาตรฐานมีค่าเฉลี่ย 0 และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเฉลี่ย 1 ดังนั้น เมื่อ $\mu = 0$ และ $\sigma = 1$ พื้นที่ใต้โค้ง จะมี $N = 1$ ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสูตรต่อไปนี้

$$Y = \frac{N}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} \quad \dots(18)$$

เมื่อ z เป็นคะแนนมาตรฐานบนแกน X มีค่าเท่ากับ $(X - \mu)/\sigma$ ซึ่งเป็นส่วนเบี่ยงเบนในหน่วยของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานบนเส้นตรงของเส้นโค้งจากค่าเฉลี่ย 0 ถ้าเบี่ยงเบนไปทางขวาของค่าเฉลี่ยจะมีค่าเป็นบวก แต่ถ้าเบี่ยงเบนไปทางซ้ายของค่าเฉลี่ยจะมีค่าเป็นลบ คะแนนมาตรฐาน z จึงเป็นตัวบ่งชี้ให้ทราบว่าคะแนนดิบที่ศึกษานั้นเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยไปเท่าไรจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เมื่อนำค่า z ต่าง ๆ ไปแทนลงในสมการ ก็จะได้ค่า Y ที่แตกต่างกันไป ซึ่งสามารถคำนวณส่วนสูงของเส้นโค้งปกติได้

แม้ว่าเส้นโค้งปกติจะแตกต่างกันไปตามค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แต่เส้นโค้งปกติที่เป็นมาตรฐานจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ซึ่งหมายถึงเป็นเส้นโค้งที่มีพื้นที่ทางด้านซ้ายและทางด้านขวาเท่ากัน ซึ่งก็คือมีลักษณะสมมาตร โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 1 ลักษณะของเส้นโค้งปกติมี 3 รูปแบบ ประกอบด้วย

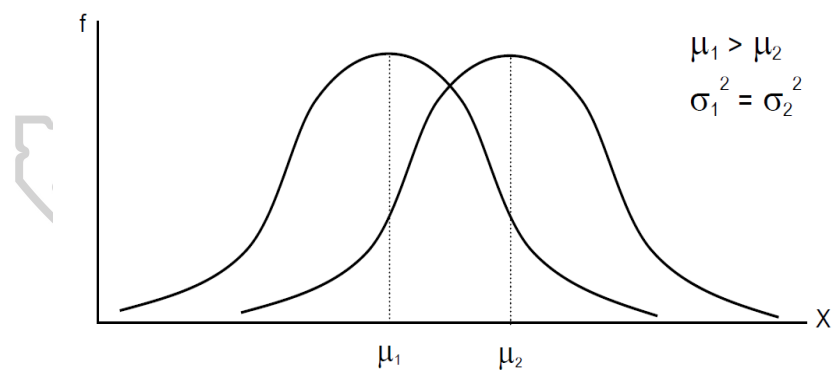
เมื่อค่าเฉลี่ยเท่ากัน แต่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่างกัน (แสดงดังภาพที่ 2.22)



ภาพที่ 2.22 ลักษณะเส้นโค้งของการแจกแจงแบบปกติ เมื่อค่าเฉลี่ยเท่ากัน แต่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่างกัน

ที่มา : (มนต์ชัย เทียนทอง, 2548)

เมื่อค่าเฉลี่ยไม่เท่ากัน แต่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากัน (แสดงดังภาพที่ 2.23)

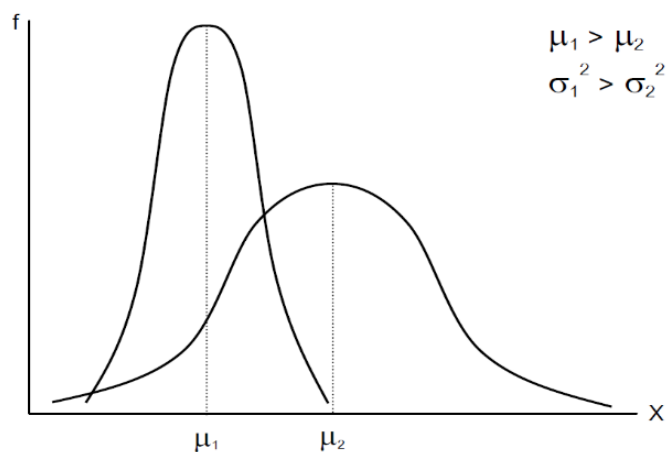


ภาพที่ 2.23 ลักษณะเส้นโค้งของการแจกแจงแบบปกติ เมื่อค่าเฉลี่ยไม่เท่ากัน

แต่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากัน

ที่มา : (มนต์ชัย เทียนทอง, 2548)

เมื่อค่าเฉลี่ยไม่เท่ากัน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เท่ากัน (แสดงดังภาพที่ 2.24)



ภาพที่ 2.24 ลักษณะเส้นโค้งของการแจกแจงแบบปกติ เมื่อค่าเฉลี่ยไม่เท่ากัน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เท่ากัน
ที่มา : (มนต์ชัย เทียนทอง, 2548)

2.1.5.3 หลักการของการวิเคราะห์ความแปรปรวน

หลักเกณฑ์ที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวนคือ แบ่งความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมดออกตามสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลแตกต่างกัน คือความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within Group) และความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between Group) โดยที่

$$\text{ความแปรปรวนทั้งหมด} = \text{ความแปรปรวนภายในกลุ่ม} + \text{ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม} \quad \dots(19)$$

การวิเคราะห์ความแปรปรวนมีด้วยกันหลายประเภท ในงานวิจัยฉบับนี้ จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพียง 2 แบบ คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA)

2.1.5.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA)

เป็นการศึกษาปัจจัยหรือแฟคเตอร์ (Factor) ที่มีผลทำให้ข้อมูลแตกต่างกัน เพียงปัจจัยเดียว โดยที่ปัจจัยนั้นอาจมีหลายๆ ระดับ เรียกระดับต่างๆ ของปัจจัยว่าทรีทเมนต์ (Treatment) ดังนั้นจึงเป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลในระดับต่างๆ ของปัจจัยนั่นเอง นิยมเรียกข้อมูลว่าค่าสังเกต และหน่วยแจกจ่ายที่ให้ออกข้อมูลว่าหน่วยทดลอง (Experimental Unit)

ตัวอย่าง บริษัทผลิตถุงกระดาษที่ใช้ในร้านขายของชำพบว่าความเหนียวของถุงกระดาษขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเยื่อไม้ที่ใช้ทำเยื่อกระดาษ จึงทำการทดลองผลิตถุงกระดาษโดยใช้ความเข้มข้นของเยื่อไม้ต่างกัน คือ 5% 10% 15% และ 20% แล้วทำการวัดความเหนียวของถุงกระดาษที่เลือกจากแต่ละกลุ่มๆ ละ 6 ใบ (แสดงข้อมูลดังตารางที่ 2.5)

ค่าสังเกต คือความเหนียวของถุงกระดาษ

แฟคเตอร์ คือความเข้มข้นของเยื่อไม้

ทรีทเมนต์ คือความเข้มข้นของเยื่อไม้ต่างกัน คือ 5%, 10%, 15% และ 20%

หน่วยทดลอง คือถุงกระดาษ

ตารางที่ 2.5 ลักษณะของตารางข้อมูล

| ความเข้มข้นของเยื่อกระดาษ | | | |
|---------------------------|-----|-----|-----|
| 5% | 10% | 15% | 20% |
| 9 | 12 | 13 | 19 |
| 10 | 11 | 15 | 23 |
| 8 | 13 | 15 | 19 |
| 11 | 13 | 17 | 20 |
| 8 | 14 | 17 | 21 |
| 8 | 15 | 17 | 21 |

ลักษณะของตารางข้อมูลในรูปทั่วไป (ดังตารางที่ 2.6) เป็นดังนี้

ตารางที่ 2.6 ลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

| | ทรีทเมนต์ (treatment) | | | | | |
|-----------|-----------------------|-------------|-------------|-----|-------------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | ... | K | |
| | X_{11} | X_{21} | X_{31} | ... | X_{k1} | |
| | X_{12} | X_{22} | X_{32} | ... | X_{k2} | |
| | X_{13} | X_{23} | X_{33} | ... | X_{k3} | |
| | : | : | : | ... | : | |
| | X_{1n1} | X_{2n2} | X_{3n3} | ... | X_{knk} | |
| รวม | T_1 | T_2 | T_3 | ... | T_k | T |
| ค่าเฉลี่ย | \bar{X}_1 | \bar{X}_2 | \bar{X}_3 | ... | \bar{X}_k | \bar{X} |

| | | |
|-------|-------------|---|
| เมื่อ | x_{ij} | แทนข้อมูลของทริทเมนต์ที่ i หน่วยทดลองที่ j |
| | i | $1,2,3,\dots,k$ และ $j = 1,2,3,\dots,n_i$ |
| | T_i | แทนผลรวมของข้อมูลทริทเมนต์ที่ i |
| | T | แทนผลรวมข้อมูลทั้งหมด |
| | \bar{x}_i | แทนค่าเฉลี่ยของข้อมูลทริทเมนต์ที่ i |
| | \bar{x} | แทนค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด |
| | k | แทนจำนวนทริทเมนต์ |
| | n | แทนจำนวนข้อมูลทั้งหมด เท่ากับ $n_1+n_2+n_3+\dots+n_k$ |

เนื่องจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวเป็นการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยเดียวที่มีผลทำให้ค่าสังเกตแตกต่างกัน นั่นคือข้อมูลมีความแตกต่างเนื่องจากกลุ่มที่แตกต่างเท่านั้น ดังนั้นการวิเคราะห์จึงแบ่งความแปรปรวนของข้อมูลเป็นดังนี้

ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between Groups Sum of Square) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ SSB เป็นการพิจารณาความแปรปรวนที่เกิดจากการที่ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างในแต่ละกลุ่มแตกต่างจากค่าเฉลี่ยรวม โดยที่

$$SSB = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2 \quad \dots(20)$$

ความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within Group Sum of Square) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ SSE เป็นการพิจารณาความแปรปรวนที่เกิดขึ้นภายในกลุ่มแต่ละกลุ่มซึ่งไม่ทราบสาเหตุว่าเป็นความแปรปรวนที่เกิดจากสาเหตุใด ในบางครั้งจึงเรียกว่าความคลาดเคลื่อน (Error Sum of Square) โดยที่

$$SSE = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad \dots(21)$$

ความแปรปรวนรวม (Total Sum of Square) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ SST เป็นการพิจารณาความแปรปรวนที่เกิดจากค่าสังเกตแต่ละค่าแตกต่างจากค่าเฉลี่ยรวม โดยที่

$$SST = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x})^2 \quad \text{และ} \quad SST = SSB + SSE \quad \dots(22)$$

การคำนวณ Sum of Square นอกจากจะคำนวณจากวิธีการข้างต้นแล้วยังมีวิธีการคำนวณที่ปรับให้ง่ายขึ้น ดังนี้

$$CM(\text{Corrected of Mean}) = \frac{(\sum \sum x_{ij})^2}{n} \quad \dots(23)$$

$$SST = \sum \sum (x_{ij} - \bar{x})^2 \quad \dots(24)$$

$$= \sum \sum x_{ij}^2 - CM$$

$$SSB = \sum n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2 \quad \dots(25)$$

$$= \sum \left(\frac{\sum x_i^2}{n_i} \right) - CM$$

$$SSE = SST - SSB \quad \dots(26)$$

ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากร k กลุ่ม ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวน มีเงื่อนไขดังนี้ 1) ประชากร k กลุ่มมีการแจกแจงแบบปกติ 2) ความแปรปรวนของแต่ละประชากรเท่ากัน และ 3) ตัวอย่างสุ่มจากแต่ละประชากรเป็นอิสระต่อกัน

สมมติฐานในการทดสอบ

กำหนด μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มที่ 1

μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มที่ 2

μ_k แทนค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มที่ k

สมมติฐานเชิงสถิติ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k \quad \dots(27)$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \neq \mu_k \text{ อย่างน้อย 1 คู่} \quad \dots(28)$$

หรือ

H_0 : ค่าเฉลี่ยของประชากร k กลุ่มไม่แตกต่างกัน

H_1 : ค่าเฉลี่ยของประชากร k กลุ่มแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

ตัวสถิติในการทดสอบคือ $F = \frac{MSB}{MSE}$ ซึ่งคำนวณจากตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance Table)

| แหล่งความแปรปรวน (Source of variation) | องศาอิสระ (df) | ผลรวมกำลังสอง (Sum of Square) (SS) | ผลรวมกำลังสองเฉลี่ย (Mean of Square) $MS = \frac{SS}{df}$ | ค่าตัวสถิติ (F) |
|---|-------------------|--|---|-----------------------|
| ระหว่างกลุ่ม | $k-1$ | SSB | $MSB = \frac{SSB}{k-1}$ | $F = \frac{MSB}{MSE}$ |
| ภายในกลุ่ม | $n-k$ | SSE | $MSE = \frac{SSE}{n-k}$ | |
| รวม | $n-1$ | SST | | |

ค่าวิกฤต $f_{1-\alpha, k-1, n-k}$ และปฏิเสธ H_0 เมื่อค่าสถิติทดสอบ F มากกว่าค่าวิกฤต

2.1.5.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-Way ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-Way ANOVA) แตกต่างจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวคือ ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวหน่วยตัวอย่างภายในกลุ่มเดียวกันจะต้องมีความแตกต่างกันน้อยมาก เพื่อที่จะมั่นใจได้ว่าเมื่อเกิดความแปรปรวนในการทดลอง จะนำไปสู่ข้อสรุปได้ชัดเจนว่าเป็นความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม แต่ในทางปฏิบัติอาจพบว่าการใช้หน่วยตัวอย่างที่เหมือนกันหรือมีความคล้ายคลึงกันจะเป็นไปได้ยากมาก เช่นถ้าจะเปรียบเทียบยอดขายประกันของบริษัทจากวิธีขายที่แตกต่างกัน 3 วิธี อาจเป็นไปได้ว่าความสามารถที่แตกต่างกันของพนักงานก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ยอดขายแตกต่างกันได้ แม้จะใช้วิธีขายวิธีเดียวกัน ดังนั้นเมื่อเกิดความแปรปรวนของข้อมูล จึงทำให้สรุปได้ไม่ชัดเจนว่าเป็นเพราะวิธีขายที่ต่างกัน หรือเป็นเพราะความสามารถของพนักงานที่แตกต่างกันที่เป็นสาเหตุทำให้ยอดขายแตกต่างกัน ดังนั้นจึงอาจจะแบ่งหน่วยทดลองออกเป็นกลุ่มๆ เรียกว่า บล็อก (block) โดยให้ภายในแต่ละบล็อก ประกอบไปด้วยหน่วยตัวอย่างที่มีความคล้ายคลึงกัน ส่วนในต่างบล็อกก็จะเป็นหน่วยตัวอย่างที่แตกต่างกัน และจำนวนหน่วยทดลองภายในแต่ละบล็อกจะได้รับทริทเมนต์ต่างๆ ครอบคลุม ตารางข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง แสดงดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง

| แถว (Block) | คอลัมน์ (Treatment) | | | | | | รวม | เฉลี่ย |
|----------------|---------------------|----------------|-----|----------------|-----|----------------|----------|----------------|
| | 1 | 2 | ... | j | ... | e | | |
| 1 | x_{11} | x_{12} | ... | x_{1j} | ... | x_{1e} | $T_{1.}$ | $\bar{x}_{1.}$ |
| 2 | x_{21} | x_{22} | ... | x_{2j} | ... | x_{2e} | $T_{2.}$ | $\bar{x}_{2.}$ |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| i | x_{i1} | x_{i2} | ... | x_{ij} | ... | x_{ie} | $T_{i.}$ | $\bar{x}_{i.}$ |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| r | x_{r1} | x_{r2} | ... | x_{rj} | ... | x_{re} | $T_{r.}$ | $\bar{x}_{r.}$ |
| รวม | $T_{.1}$ | $T_{.2}$ | ... | $T_{.j}$ | ... | $T_{.e}$ | T | |
| เฉลี่ย | $\bar{x}_{.1}$ | $\bar{x}_{.2}$ | ... | $\bar{x}_{.j}$ | ... | $\bar{x}_{.e}$ | | \bar{x} |

| | | |
|-------|-------------|--|
| เมื่อ | x_{ij} | แทนค่าสังเกตแถวที่ i คอลัมน์ที่ j |
| | T_i | แทนผลรวมค่าสังเกตแถวที่ i |
| | T_j | แทนผลรวมค่าสังเกตคอลัมน์ที่ j T_j |
| | T | แทนผลรวมทั้งหมด |
| | \bar{x}_i | แทนค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตแถวที่ i |
| | \bar{x}_j | แทนค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตคอลัมน์ที่ j |
| | \bar{x} | แทนค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด x |
| | r | แทนจำนวนแถว |
| | c | แทนจำนวนคอลัมน์ |
| | n | แทนจำนวนตัวอย่างทั้งหมด = rc |

ในกรณีนี้จะแยกแหล่งความแปรปรวนทั้งหมดออกได้เป็น

$$\text{ความแปรปรวนรวม (SST)} = \text{ความแปรปรวนระหว่างทรีทเมนต์ (SSA)} + \text{ความแปรปรวนระหว่างบล็อก (SSB)} + \text{ความแปรปรวนอื่น ๆ (SSE)} \quad \text{.....(29)}$$

หรือ
$$SST = SSA + SSB + SSE \quad \text{.....(30)}$$

การคำนวณหาค่า Sum of Square เริ่มต้นจากการหาค่า

$$CM(\text{corrected of Mean}) = \frac{(\sum \sum x_{ij})^2}{n} \quad \text{.....(31)}$$

SST แทนความแปรปรวนรวมคำนวณได้โดย

$$SSA = \sum_{j=1}^c \frac{T_j^2}{n_j} - CM \quad \text{.....(32)}$$

SSA แทนความแปรปรวนระหว่างทรีทเมนต์ในแต่ละคอลัมน์ คำนวณได้โดย

$$SSA = \sum_{j=1}^c \frac{T_j^2}{n_j} - CM \quad \text{.....(33)}$$

SSB แทนความแปรปรวนระหว่างบล็อกในแต่ละแถว คำนวณได้โดย

$$SSB = \sum_{i=1}^r \frac{T_i^2}{n_i} - CM \quad \text{.....(34)}$$

SSE แทนความผันแปรภายในอื่น ๆ ที่ไม่ทราบสาเหตุ คำนวณได้โดย

$$SSE = SST - SSB \quad \text{.....(35)}$$

สมมติฐานการทดสอบ กรณีทดสอบว่าทรีทเมนต์มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันหรือไม่
สมมติฐานเชิงสถิติ

H_0 : ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้รับทรีทเมนต์แต่ละทรีทเมนต์ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้รับทรีทเมนต์แต่ละทรีทเมนต์แตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

หรือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_e \quad \text{.....(36)}$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \neq \mu_e \quad \text{.....(37)}$$

สมมติฐานการทดสอบ กรณีทดสอบว่าบล็อกมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันหรือไม่

H_0 : ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในบล็อกแต่ละบล็อกไม่แตกต่างกัน

H_1 : ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในบล็อกแต่ละบล็อกแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

หรือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_r \quad \text{.....(38)}$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \neq \mu_r \quad \text{.....(39)}$$

ตัวสถิติในการทดสอบอิทธิพลของทรีทเมนต์คือ $F = \frac{MSA}{MSE}$ และตัวสถิติทดสอบ

อิทธิพลของบล็อกคือ $F = \frac{MSB}{MSE}$ ซึ่งคำนวณจากตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

| แหล่งความแปรปรวน (Source of variation) | องศาอิสระ (df) | ผลรวมกำลังสอง (Sum of Square) (SS) | ผลรวมกำลังสองเฉลี่ย (Mean of Square) $MS = \frac{SS}{df}$ | ค่าตัวสถิติ (F) |
|---|-------------------|--|---|-----------------------|
| ระหว่างทรีทเมนต์ | c-1 | SSA | $MSA = \frac{SSA}{c-1}$ | $F = \frac{MSA}{MSE}$ |
| ระหว่างบล็อก | r-1 | SSB | $MSB = \frac{SSB}{r-1}$ | $F = \frac{MSB}{MSE}$ |
| ความคลาดเคลื่อน | (c-1)(r-1) | SSE | $MSE = \frac{SSE}{(c-1)(r-1)}$ | |
| รวม | n-1 | SST | | |

ค่าวิกฤตในการทดสอบอิทธิพลของทรีทเมนต์คือ $f_{1-\alpha, c-1, (c-1)(r-1)}$

ค่าวิกฤตในการทดสอบอหิทธิพลของบล็อกคือ $f_{1-\alpha, r-1, (c-1)(r-1)}$

และปฏิเสธ H_0 เมื่อค่าสถิติทดสอบ F มากกว่า ค่าวิกฤต

ตัวอย่าง ร้านค้าแห่งหนึ่งมีสาขาอยู่หลายแห่ง ต้องการทดสอบว่าสาขามีผลทำให้ยอดขายขนมแตกต่างกันหรือไม่ จึงเลือกร้านค้ามา 5 สาขา เพื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูล แต่เนื่องจากในร้านค้านั้นมีลักษณะการจัดวางขนมที่แตกต่างกัน 3 แบบ ดังนั้นจึงเก็บรวบรวมข้อมูลยอดขายขนม (ร้อยบาท) จากร้านค้า 5 แห่ง และตำแหน่งที่วางขนม 3 ตำแหน่ง ได้ผลดังตารางที่ 2.10 ตารางที่ 2.10 ข้อมูลยอดขายขนม

| ตำแหน่งที่วางขนม | ร้านค้า | | | | | รวม |
|------------------|---------|----|----|----|----|-----|
| | A | B | C | D | E | |
| ชั้นบน | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 45 |
| ชั้นกลาง | 9 | 9 | 9 | 9 | 12 | 48 |
| ชั้นล่าง | 10 | 10 | 12 | 12 | 14 | 58 |
| รวม | 26 | 27 | 30 | 31 | 37 | 151 |

กรณีทดสอบว่าสาขามีผลทำให้ยอดขายขนมเฉลี่ยแตกต่างกันหรือไม่

H_0 : ยอดขายขนมเฉลี่ยของร้านค้าแต่ละสาขาไม่แตกต่างกัน

H_1 : ยอดขายขนมเฉลี่ยของร้านค้าแต่ละสาขาแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

หรือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 \quad \dots(40)$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \quad \dots(41)$$

ตัวสถิติทดสอบคือ $F = \frac{MSA}{MSE}$ จากตาราง ANOVA จะได้ $F = 14.49$

ค่าวิกฤตคือ $f_{1-\alpha, c-1, (c-1)(r-1)} = f_{0.95, 4, 8} = 3.84$

เนื่องจาก $F=14.49$ อยู่ในบริเวณปฏิเสธ H_0 หมายความว่ายอดขายขนมเฉลี่ยของร้านค้าแต่ละสาขาแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ หรือสาขาของร้านค้านั้นมีผลทำให้ยอดขายขนมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

กรณีทดสอบว่าตำแหน่งการวางมีผลทำให้ยอดขายขนมเฉลี่ยแตกต่างกันหรือไม่

H_0 : ยอดขายขนมเฉลี่ยที่วางอยู่ในตำแหน่งแต่ละตำแหน่งไม่แตกต่างกัน

H_1 : ยอดขายขนมเฉลี่ยที่วางอยู่ในตำแหน่งแต่ละตำแหน่งแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

หรือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \quad \dots(42)$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \quad \dots(43)$$

ตัวสถิติทดสอบคือ $F = \frac{MSA}{MSE}$ จากตาราง ANOVA จะได้ $F = 21.55$

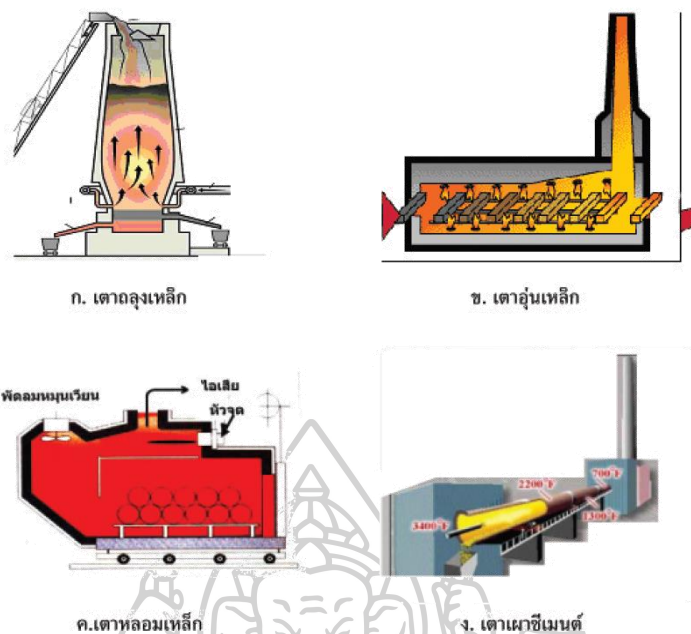
ค่าวิกฤตคือ $f_{1-\alpha, r-1, (c-1)(r-1)} = f_{0.95, 2, 8} = 4.46$

เนื่องจาก $F=21.55$ อยู่ในบริเวณปฏิเสธ H_0 หมายความว่ายอดขายขนมเฉลี่ยที่วางอยู่ในตำแหน่งแต่ละตำแหน่งแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ หรือตำแหน่งการวางขนมมีผลทำให้ยอดขายขนมเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ดังนั้นการวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นวิธีการทางสถิติอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยกรณีประชากรมากกว่า 2 กลุ่ม โดยใช้หลักการของความแปรปรวนและคำนวณค่าสถิติทดสอบ F ในรูปของตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน หรือตาราง ANOVA เพื่อให้เป็นขั้นตอนที่ง่ายและสะดวก ประเภทของการวิเคราะห์ความแปรปรวนขึ้นอยู่กับว่ามีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกี่ปัจจัย ดังนั้นควรระมัดระวังในการเลือกวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนให้เหมาะสมเพื่อผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ต้องการ

2.1.6 เตาอุตสาหกรรม

เตาเผาหรือเตาอุตสาหกรรมเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการผลิตความร้อนในอุตสาหกรรม โดยสามารถให้ความร้อนตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิ $150^\circ\text{C} - 250^\circ\text{C}$ ไปจนถึงอุณหภูมิ $1,500^\circ\text{C}$ เตาเผาเชื้อเพลิงผลิตความร้อนได้จากการเผาไหม้หรือการสันดาประหว่างเชื้อเพลิงและอากาศ โดยความร้อนที่เกิดขึ้นจะถูกถ่ายเทไปยังผลิตภัณฑ์ ด้วยสองวิธีการหลักๆ คือ การนำความร้อนผ่านก๊าซร้อนที่หมุนเวียนภายในเตา และการแผ่รังสีความร้อนโดยตรงจากเปลวไฟไปยังผลิตภัณฑ์ที่รับความร้อน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน, 2561) เตาอุตสาหกรรมมีใช้งานในโรงงานหลายประเภท เช่น โรงงานถลุงเหล็ก โรงงานหล่อ โรงงานรีดเหล็ก โรงงานแก้ว โรงงานปูนซีเมนต์ โรงงานเคมี ตลอดจนโรงงานกำจัดขยะ เป็นต้น ซึ่งเตาอุตสาหกรรมที่ใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละประเภทจะมีลักษณะและการทำงานที่แตกต่างกันไป เช่น เตาถลุงเหล็ก (blast furnace) มีลักษณะเป็นปล่อง สิ้นแร่และถ่านโค้กถูกป้อนจากด้านบนขณะที่อากาศเข้าเผาไหม้ช่วงกลาง น้ำเหล็กหล่อถูกถ่ายเทด้านล่าง เตาอุณหภูมิก่อนรีด แท่งเหล็กถูกเคลื่อนเข้าไปในเตาอย่างต่อเนื่อง เตาเผาเซรามิกส์ ใช้งานจะบรรจุบนรถเข็นเคลื่อนที่เข้าไปในเตา หรือเตาเผาซีเมนต์ที่เป็นทรงกระบอกหมุน มีหัวเผาอยู่ที่แกนกลาง เป็นต้น เตาอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ แสดงในภาพที่ 2.25



ภาพที่ 2.25 ประเภทของเตาอุตสาหกรรม

ที่มา : (สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2561)

2.1.6.1 ประเภทของเตาอุตสาหกรรม

เตาเชื้อเพลิงที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมมีอยู่หลายประเภทโดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภทคือ 1) เตาที่มีการเผาไหม้ภายใน (Internally-Heated Furnaces) จะมีลักษณะที่เปลวไฟของเชื้อเพลิงหรือก๊าซร้อนจากการเผาไหม้สัมผัสโดยตรงกับวัตถุที่จะเผาตัวอย่างของเตาประเภทนี้ได้แก่ หม้อเผา (Kilns), เตาหลอมแก้ว (Glass Furnaces), เตาอบขนมปัง (Bakery Oven), เตาเผาหรือเตาอบผลิตภัณฑ์เคลือบผง (Powder Coat Furnaces), เตาเผาขยะ (Incinerators), เตาเผาเหล็กเพื่อรีดเป็นเหล็กเส้น, เพื่อตีขึ้นรูป และเพื่อชุบแข็ง (Metal Reheating and Holding furnaces), เตาถลุงเหล็ก (Blast Furnaces) 2) เตาที่มีการเผาไหม้ภายนอก (Externally Heated Furnaces) จะมีลักษณะที่เปลวไฟของเชื้อเพลิงหรือก๊าซร้อนจากการเผาไหม้สัมผัสทางอ้อมหรือมีตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนอีกชั้นตอนหนึ่ง ตัวอย่างของเตาประเภทนี้ได้แก่ เตาเผาเข้าหลอมโลหะ (Metallurgical Crucible Furnaces), เตาเผาท่อแผ่รังสีความร้อน (Radiant Tube Furnaces), เตาอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหาร (Food Dehydrating Ovens), เตาให้ความร้อนหม้อต้มแยกขนออกจากชิ้นไก่ (Modern Offal Rendering Plants), หม้อไอน้ำและเครื่องผลิตไอน้ำ (Steam Boilers and Generators)

การแบ่งชนิดของเตาเผาอุตสาหกรรมตามลักษณะการใช้งานหรือกิจการแสดงได้ดังตารางที่ 2.11

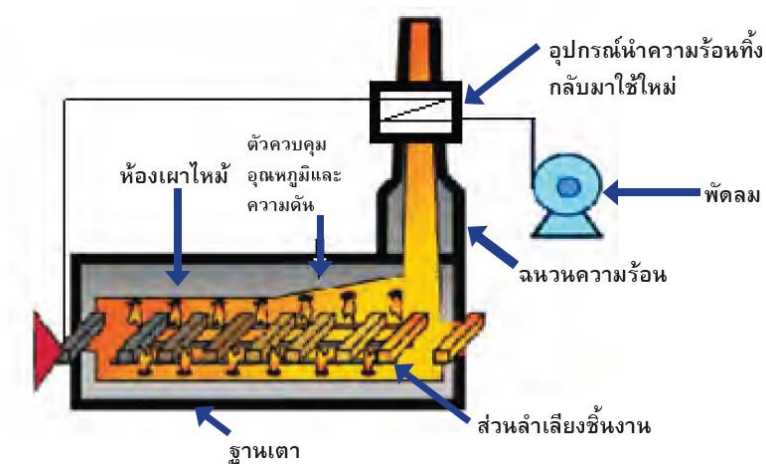
ตารางที่ 2.11 ประเภทเตาเผาอุตสาหกรรมแบ่งตามลักษณะการใช้งานหรือกิจการ

| กิจการ | ชนิดของเตา |
|---------------------|--|
| ถลุงเหล็ก | blast furnace, hot blast stove, sintering furnace, coke oven, converter, arc furnace, heating furnace, annealing furnace |
| เหล็กหล่อ | cupola, induction melting furnace, holding furnace, heat treating furnace, drying furnace |
| โลหะอื่นนอกจากเหล็ก | roasting furnace, smelting furnace, melting furnace, heating furnace, heat treating furnace |
| เซรามิก | melting furnace, calciner, baking furnace, annealing furnace |
| รถยนต์ เครื่องจักร | annealing furnace, brazing furnace, carburizing furnace, nitrogenation oven, sintering furnace, plating furnace, เครื่องกำเนิดบรรยากาศควบคุม |
| อุตสาหกรรมเคมี | coke oven, gas generator, เตาให้ความร้อนน้ำมันปิโตรเลียม, cracking furnace, reformer |
| Machining | sintering furnace, plating furnace, heat treating furnace, drying furnace |
| อื่นๆ | เตาเผาขยะอุตสาหกรรม |

ที่มา : (กลุ่มวิจัยเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2562)

2.1.6.2 โครงสร้างของเตาอุตสาหกรรม

เตาอุตสาหกรรมมีโครงสร้างและการทำงานแตกต่างกันมาก แต่เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบพื้นฐานแล้ว เตาอุตสาหกรรมจะมีองค์ประกอบ 6 ส่วน ได้แก่ 1) ฐานเตา เปลือกเตา เป็นโครงสร้างเพื่อยึดฉนวนความร้อน 2) ฉนวนความร้อน ได้แก่ อิฐทนไฟ ฯลฯ 3) ห้องเผาไหม้ 4) ส่วนลำเลียงชิ้นงาน มีทั้งแบบต่อเนื่องและแบบทำงานเป็นรอบ 5) ส่วนควบคุม ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิ ความดัน และลำเลียงชิ้นงาน และ 6) อุปกรณ์นำความร้อนที่กลับมาใช้ รายละเอียดแสดงในภาพที่ 2.26



ภาพที่ 2.26 องค์ประกอบของเตาเผา

ที่มา : (สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2561)

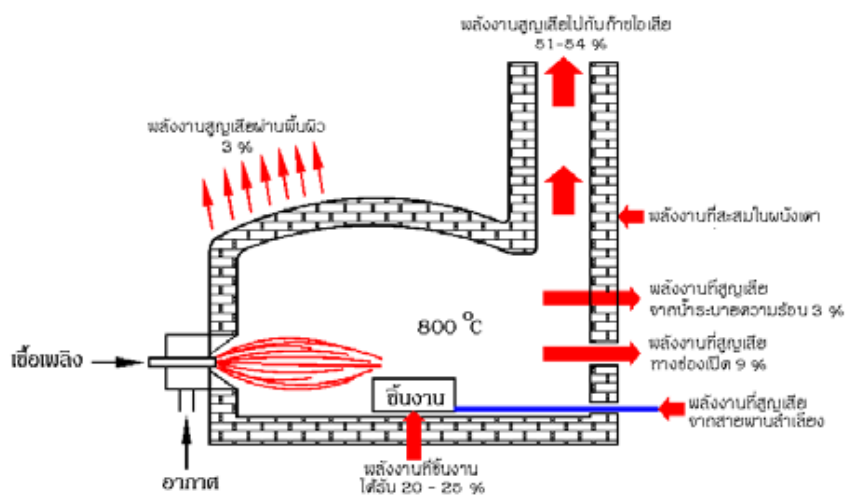
2.1.6.3 การใช้งานเตาอุตสาหกรรม

เตาอุตสาหกรรมที่ใช้งานอยู่ในโรงงานมีความหลากหลาย เตาแต่ละประเภทมีลักษณะและการทำงานที่แตกต่างกันไป นอกจากนี้เตายังมีอุณหภูมิทำงานที่แตกต่างกันตามลักษณะการใช้งาน ซึ่งส่งผลให้การใช้พลังงานของเตาแตกต่างกันไปด้วย โดยทั่วไปเตาอุตสาหกรรมที่ต้องการอุณหภูมิสูงจะใช้พลังงานสูงและเกิดการสูญเสียความร้อนสูง เมื่อเทียบกับเตาที่มีอุณหภูมิใช้งานต่ำกว่า ดังตารางที่ 2.12 แสดงอุณหภูมิทำงานของเตาอุตสาหกรรม

| ประเภทเตา (แยกตามลักษณะการใช้งาน) | อุณหภูมิภายในเตา (°C) |
|-----------------------------------|-----------------------|
| เตาอบเหล็ก | 600 - 1,100 |
| เตาหลอมแก้ว | 1,000 - 1,300 |
| เตาเผาเซรามิกส์ | 700 - 1,100 |
| เตาเผาซีเมนต์ | 650 - 700 |
| เตาเผากำจัดของเสีย | 650 - 1,000 |

อุณหภูมิที่สูงมีผลให้ก๊าซไอเสียที่ปล่อยทิ้งมีอุณหภูมิสูงตามไปด้วย ส่งผลให้เตาอุตสาหกรรมมีประสิทธิภาพต่ำ โดยทั่วไปเตาอุตสาหกรรมมีประสิทธิภาพเพียงร้อยละ 20-40 เท่านั้น หมายความว่า พลังงานที่ป้อนให้เตาอุตสาหกรรม 100 ส่วน จะให้ความร้อนกับชิ้นงาน 20-40 ส่วน ที่เหลือเป็นพลังงานสูญเสีย ดังภาพที่ 2.27 แสดงการใช้พลังงานของเตาอบเหล็กซึ่งมีประสิทธิภาพร้อยละ 20-25 โดยสูญเสียพลังงานไปกับก๊าซไอเสียและความร้อนที่ปล่อยทิ้งร้อยละ

51-54 สูญเสียทางพื้นผิวร้อยละ 3 และการสูญเสียผ่านช่องเปิดร้อยละ 9 และการสูญเสียอื่นๆ ร้อยละ 8-15



ภาพที่ 2.27 การใช้พลังงานของเตาอบเหล็กซึ่งมีประสิทธิภาพร้อยละ 20-25
ที่มา : (สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2561)

2.1.7 สภาวะการทำงานของเตาเผาเหล็ก

สภาวะการทำงานของเตาเผาเหล็กสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงการทำงาน ประกอบด้วย ช่วงรีดเหล็ก ช่วงอุ่นเตา และช่วงเร่งเตา โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1.7.1 ช่วงรีดเหล็ก

ช่วงรีดเหล็ก เป็นช่วงที่มีการรีดเหล็ก โดยเหล็กจะได้รับความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิเหล็กให้มีอุณหภูมิที่พอเหมาะในการรีด ในที่นี้จะมีการควบคุมอุณหภูมิของ Heating Zone ไว้ที่อุณหภูมิ 1,250°C และควบคุมอุณหภูมิของ Soaking Zone ไว้ที่อุณหภูมิ 1,250°C

2.1.7.2 ช่วงอุ่นเตา

ช่วงอุ่นเตา เป็นช่วงที่มีการควบคุมอุณหภูมิในเตาเผาเหล็กที่อุณหภูมิต่ำลงเพื่อรอทำการรีดเหล็ก ในที่นี้จะมีการควบคุมอุณหภูมิของ Heating Zone ไว้ที่อุณหภูมิ 1,150°C และควบคุมอุณหภูมิของ Soaking Zone ไว้ที่อุณหภูมิ 1,150°C

2.1.7.3 ช่วงเร่งเตา

ช่วงเร่งเตา เป็นช่วงที่มีการเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิที่ควบคุมในช่วงอุ่นเตามาเป็นอุณหภูมิที่ควบคุมในช่วงรีดเหล็ก

2.1.8 การแบ่งพื้นที่การทำงานภายในเตาอบเหล็ก

พื้นที่การทำงานภายในเตาอบเหล็กสามารถแบ่งออกเป็น 3 พื้นที่ แต่ละพื้นที่มีลักษณะการทำงานและการควบคุมอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ดังนี้

2.1.8.1 Preheating Zone

พื้นที่การทำงานในช่วงนี้จะเป็นช่วงเริ่มต้นที่เหล็กเริ่มเข้าเตา ซึ่งในพื้นที่นี้จะยังไม่มี การติดตั้งหัว Low NOx Burner อุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในเตาอบเหล็กจะเกิดจากการอาศัย อุณหภูมิจาก Heating Zone เพื่ออุ่นให้เหล็กมีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ $1,000^{\circ}\text{C}$

2.1.8.2 Heating zone

พื้นที่การทำงานในช่วงนี้ภายในเตาอบเหล็กจะมีการติดตั้งหัว Low NOx Burner จะเป็นช่วงที่ทำการเพิ่มอุณหภูมิให้กับเตาอบเหล็กที่ $1,250^{\circ}\text{C}$ เพื่อให้เหล็กภายในเตานั้นสุก แต่ในช่วงนี้เหล็กจะสุกที่เฉพาะพื้นผิวนอกเท่านั้น ในส่วนของแกนภายในจะยังไม่สุกและอาจยังไม่ได้ อุณหภูมิที่ $1,250^{\circ}\text{C}$

2.1.8.3 Soaking Zone

พื้นที่การทำงานของเตาอบเหล็กในช่วงนี้จะมีการติดตั้งหัว Low NOx Burner เพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในเตาอบเหล็กไว้ที่ $1,250^{\circ}\text{C}$ เช่นเดียวกับ Heating Zone พื้นที่ Soaking Zone เป็นช่วงสุดท้ายภายในเตาอบเหล็กเนื่องจากเป็นช่วงที่มีการแช่เหล็กที่อยู่ภายในเตาเพื่อรอ ส่งไปยังกระบวนการรีดเหล็กในลำดับถัดไป ทั้งนี้ในช่วง Soaking Zone นั้นเหล็กจะสุกทั้งพื้นผิวด้านนอกและในส่วนของแกนภายใน

2.1.9 ส่วนควบคุมการทำงานเตาเผา

ระบบควบคุมเตาเผาเป็นอีกหนึ่งองค์ประกอบในการควบคุมการใช้พลังงานให้มี ประสิทธิภาพ (นอกจากการเลือกใช้หัวเผา) การควบคุมเตาเผาให้มีประสิทธิภาพนั้นต้องควบคุม ค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

2.1.9.1 การควบคุมอุณหภูมิภายในเตา

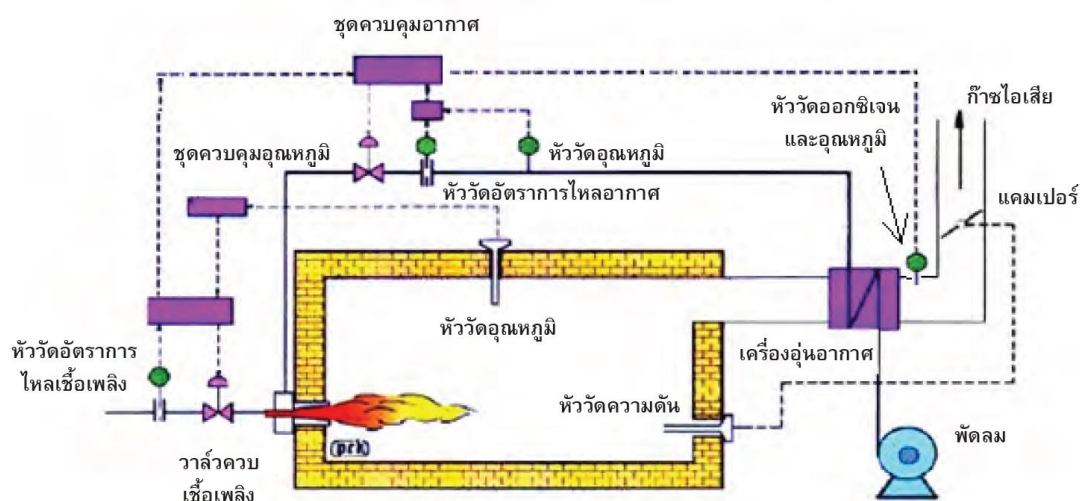
2.1.9.2 การควบคุมอุณหภูมิก๊าซไอเสีย

2.1.9.3 การควบคุมออกซิเจนส่วนเกิน

2.1.9.4 การควบคุมความดันภายในเตา

ในการควบคุมเตาเผา สิ่งแรกที่ต้องควบคุมคือ อุณหภูมิภายในเตาต้องได้ตามความ ต้องการในการใช้งาน โดยชุดควบคุมอุณหภูมิเตาจะควบคุมจากการป้อนเชื้อเพลิง สิ่งที่ต้องควบคุม ในลำดับถัดมาคือ ออกซิเจน และอุณหภูมิก๊าซไอเสีย (เป็นความสูญเสียที่สำคัญของเตาเผา) โดยชุด ควบคุมอากาศที่ป้อนจากเครื่องอุ่นอากาศที่นำความร้อนเหลือทิ้งจากก๊าซไอเสียมาป้อนให้กับหัวเผา

ซึ่งต้องให้สอดคล้องกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ป้อน (โดยวัดอัตราการไหลของเชื้อเพลิง) และลำดับถัดมาคือต้องควบคุมความดันภายในเตาให้ได้ค่าตามต้องการ โดยควบคุมแอมเปอร์ป่องไอเสีย ดังแสดงในภาพที่ 2.28



ภาพที่ 2.28 ระบบควบคุมการทำงานในเตาเผา

ที่มา : (สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2561)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 งานวิจัยในประเทศ

(มชชุลิกา คอนเมธ et al., 2555) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาโรงงานเหล็กตัวอย่างที่ผลิตเหล็กและใช้เตาเผาเหล็กขนาด 50 ตัน/ชั่วโมง และใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง โดยมีวัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบการใช้พลังงานของหัวเผาประสิทธิภาพสูงชนิดรีเจนเนอเรทีฟและรีคิฟเปอร์เรทีฟในเตาเผาสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กกล้า โดยพิจารณาเลือกอุณหภูมิในการอุ่นอากาศของหัวเผาประสิทธิภาพสูงให้มีความเหมาะสมกับขนาดของเตาเผา ซึ่งจากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการอุ่นอากาศ ค่าใช้จ่ายทางด้านเชื้อเพลิงและค่าใช้จ่ายในการลงทุนหัวเผาประสิทธิภาพสูงทั้ง 2 ชนิด พบว่าที่เตาเผาเหล็กขนาด 50 ตัน/ชั่วโมง ควรเลือกติดตั้งหัวเผาเรคิฟเปอร์เรทีฟและหัวเผารีเจนเนอเรทีฟโดยมีการอุ่นอากาศที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเท่ากัน ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายทางด้านเชื้อเพลิงได้ 12.46% โดยที่หัวเผารีคิฟเปอร์เรทีฟมีระยะเวลาคืนทุน 5.6 ปี และหัวเผารีเจนเนอเรทีฟโดยมีระยะเวลาคืนทุน 6.76 ปี โดยการติดตั้งหัวเผาแบบรีคิฟเปอร์เรทีฟจะทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิที่ดีกว่าคือ 12,004,011 บาท เมื่อเทียบกับการติดตั้งหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ การเลือกใช้หัวเผาแบบรีคิฟเปอร์เรทีฟจึงมีความเหมาะสมมากกว่าหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

(ปริญญา ตระกูลวงศ์งาม, 2553) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการอุ่นเตาสำหรับเตาอบเหล็กชนิด Walking Hearth ของบริษัท ราชสีมาผลิตเหล็ก จำกัด นั้นใช้เวลาประมาณ 50-60 ชั่วโมง ซึ่งมีผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและกระบวนการผลิตเหล็กเส้น เนื่องจากกระบวนการอุ่นเตานั้นไม่สามารถให้ความร้อนอย่างรวดเร็วได้ เพราะจะทำให้เตาอบเกิดความเสียหายจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิใน Soaking Zone ให้มีค่าสอดคล้องกันกับอุณหภูมิอ้างอิงโดยใช้วิธีเปิด - ปิดหัวเผาโดยช่างเทคนิค งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีการประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้หลักการสมดุลทางความร้อนแบบพิจารณาการพาความร้อนเป็นหลัก เปรียบเทียบกับข้อมูลผลการทดลองอุณหภูมิในแต่ละโซนโดยวิธีระบุเอกลักษณ์แบบวงเปิด และการออกแบบวิธีเปิด - ปิดหัวเผาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอ้างอิง โดยประยุกต์ใช้เงินเนติกอัลกอริทึมในการหาวิธีเปิด - ปิดหัวเผาที่เหมาะสม ผลที่ได้สามารถบอกวิธีเปิด - ปิดหัวเผาที่ทำให้การตอบสนองอุณหภูมิที่สอดคล้องกันกับอุณหภูมิอ้างอิงและประหยัดเชื้อเพลิงในกระบวนการอุ่นเตาได้

(ณัฐชนันท์ ปลายเนตร & ศุภชัย ปลายเนตร, 2556) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาเตาอบซูปโลหะโดยใช้ระบบควบคุมอุณหภูมิแบบพีไอดีสำหรับอุตสาหกรรมผลิตมีดพริ้วชุมชน ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเตาอบซูปโลหะอุณหภูมิสูงสำหรับใช้ทดแทนเตาอบซูปโลหะมีดพริ้วแบบเดิม ซึ่งเป็นแบบใช้เชื้อเพลิงถ่านไม้ เตาอบมีขนาดกว้าง 0.42 เมตร ยาว 0.49 เมตร สูง 1.06 เมตร ใช้พลังงานความร้อนด้วยไฟฟ้าขนาด 3,000 วัตต์ ควบคุมอุณหภูมิเตาอบด้วยวิธีการควบคุมแบบพีไอดีคอนโทรล วัสดุที่ใช้ทดสอบ คือ เหล็กเหน็บของรถยนต์ ซึ่งนำมาผลิตมีดพริ้ว ผลการพัฒนาเตาอบพบว่ามีประสิทธิภาพด้านอุณหภูมิสูงสุด 900 องศาเซลเซียส สามารถควบคุมอุณหภูมิและความร้อนได้ต่อเนื่อง ส่งผลให้ลดการสูญเสียด้านพลังงานความร้อนได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเตาอบซูปโลหะแบบเชื้อเพลิง

(บุญชัย แซ่ลีว & ณัฐยานัน โสกุล, 2559) ได้ทำการศึกษาการลดของเสียในขั้นตอนกระบวนการบรรจุ โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: บริษัทผลิตขนมขบเคี้ยว มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียจากกระบวนการบรรจุที่เกิดจากอาการของร้าวโดยศึกษาระดับปัจจัยในการปรับตั้งค่าเครื่องจักรให้เหมาะสม โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k ในการออกแบบการทดลองซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าประกอบด้วย 4 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ความเร็วรอบอุณหภูมิ แรงกด และเวลาในการซีล โดยทำการทดลองซ้ำแบบละ 3 ครั้ง จำนวนผลการทดลองทั้งสิ้น 48 การทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าระดับปัจจัยในการปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสม คือ ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 157 องศาเซลเซียส แรงกด 6 bar และเวลาในการซีล 0.5 วินาที เมื่อนำผลจากการวิจัยมา

ใช้ในกระบวนการทำงานจริงพบว่า มูลค่าของเสียที่เกิดจากอาการของร้าวลดลงจากเดิม 855,571.72 บาท เหลือ 596,482.21 บาท คิดเป็นอัตราการลดลงร้อยละ 30.29

(ปาริฉัตร ตันติเจริญ, 2554) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงบิดของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิดไฟวอท ในกระบวนการผลิตด้วยเครื่องจักรการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์เพื่อศึกษาถึงปัจจัยในกระบวนการผลิตจำนวน 9 ปัจจัย ผลตอบสนองที่ใช้ คือ ค่าแรงบิดของชิ้นงาน ผลการทดลองพบว่า ปัจจัย C (จำนวนรอบทำ ความสะอาดชิ้นงานแบร์ริง), ปัจจัย D (ปริมาณสารยึดติดด้าน Shaft), ปัจจัย E (ปริมาณสารยึดติดด้าน Sleeve) และปัจจัย G (เวลาพักชิ้นงานนอกตู้มน้ำหนัก) ไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่าแรงบิดที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ขณะที่ปัจจัย A (เวลาพักชิ้นงานในตู้มน้ำหนัก), ปัจจัย H (จำนวน ชั่วโมงที่ใช้ในตู้อบชิ้นงาน) และปัจจัย I (ภาชนะที่ใช้ในตู้อบชิ้นงาน) มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่าแรงบิดที่ระดับความเชื่อมั่นเดียวกัน

(สมศักดิ์ แก้วพลอย & กุลยทุธ บุญเซ่ง, 2557) ได้ศึกษาการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการอบไม้ยางพารา โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบทั่วไป และวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Minitab รุ่น 16 ปัจจัยที่ทำการศึกษาประกอบด้วยอุณหภูมิ เวลาและการเปิด-ปิดปล่องระบายในกระบวนการอบเพื่อให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นตามมาตรฐานที่กำหนด พบว่าปัจจัยอุณหภูมิและเวลาในการอบเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากนั้นทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการอบไม้ยางพาราโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบท์เคน เมื่อทำการวิเคราะห์พบว่าสามารถกำหนดสภาวะในการอบไม้ยางพาราด้วยสมการถดถอยคือ เปอร์เซ็นต์ความชื้น = $343.640 - 0.788A - 42.464B + 1.339B^2 + 0.053AB$ ซึ่งเป็นสมการที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้และกำหนดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นอยู่ในช่วง 8-12%

2.2.2 งานวิจัยต่างประเทศ

(Jiin-Yuh Jang & Jun-Bo Huang, 2015) ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานให้น้อยที่สุดในกระบวนการให้ความร้อนกับแผ่นเหล็กแท่งแบนภายในเตาอบเหล็กชนิด Walking-beam Reheating Furnace โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองการถ่ายเทความร้อนทางคณิตศาสตร์แบบสองมิติเพื่อทำนายสภาพอุณหภูมิของแผ่นเหล็กแท่งแบนทั้งนี้เพื่อให้ได้รูปแบบที่เหมาะสมในการให้ความร้อนกับแผ่นเหล็กโดยใช้พลังงานภายในเตาเผาให้น้อยที่สุด อัลกอริทึมได้ถูกพัฒนาขึ้นด้วยวิธีคอนจูเกตเกรเดียนซึ่งเป็นวิธีการแก้ปัญหาาระบบสมการเชิงเส้นร่วมกับวิธีการยิงเชิงเส้นใช้ ซึ่งวิธีดังกล่าวได้ถูกนำไปใช้เป็นเครื่องมือช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการออกแบบการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาโดยรวมทั้งในส่วนของ Preheating Zone, Heating Zone และ Soaking

Zone ด้วย ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการถ่ายเทความร้อนตามแบบจำลองนั้นสามารถใช้งานได้ดีสำหรับการใช้ทำนายพฤติกรรมเมื่อได้รับความร้อนของแผ่นเหล็กในเตาเผา นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาไปถึงผลที่ได้จากการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาตามข้อกำหนดของการออกแบบที่กำหนดขึ้น เช่น พลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อนกับแผ่นเหล็ก, ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิแผ่นเหล็กที่บริเวณทางออกของเตาเผาและอุณหภูมิของแผ่นเหล็กที่ปล่อยออก ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่ามีการใช้พลังงานภายในเตาเผาลดลงจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญซึ่งจะลดลงอย่างมากในช่วงอุณหภูมิของ Preheating zone ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการออกแบบการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาที่มีความเหมาะสมสามารถส่งผลให้ช่วยลดการใช้พลังงานลงได้สำหรับการให้ความร้อนกับแผ่นเหล็กเมื่อเทียบกับสภาพการใช้งานเดิมของโรงงานผลิตเหล็ก

(Magnus Evestedt & Per-Olof Norberg, 2010) ได้ทำการวิจัยเพื่อศึกษาถึงการควบคุมอุณหภูมิที่แม่นยำในเตาเผาที่ใช้ความร้อน (Reheating Furnaces) และเตาหลอมเหล็ก (annealing furnaces) ที่มีคุณภาพสูง เนื่องจากได้มีการวิเคราะห์แล้วว่าการประหยัดพลังงานและการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นประเด็นที่มีความสำคัญมากสำหรับอุตสาหกรรมโลกในปัจจุบันนี้ ซึ่งกระบวนการผลิตเหล็กนั้นถือได้ว่าเป็นหนึ่งในกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการใช้พลังงานในปริมาณมาก ถัดมาจากการผลิตอลูมิเนียม โดยพลังงานจะถูกนำไปใช้ในหลายขั้นตอนในขณะที่กระบวนการให้ความร้อนและการถ่ายเทความร้อนจะใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมากที่สุด งานวิจัยนี้จึงได้นำระบบควบคุมการเพิ่มประสิทธิภาพเตา หรือที่เรียกว่า Furnace Optimizing Control System (FOCS) ซึ่งได้รับการออกแบบและนำไปประยุกต์ใช้กับเตาเผาจำนวนมากเพื่อการผลิตที่แตกต่างกันในอุตสาหกรรมเหล็กเช่น การให้ความร้อน การอบปกติ หรือการอบอ่อน ระบบ FOCS ทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับ การควบคุมอุณหภูมิแบบออนไลน์ ผลจากการศึกษาและใช้ระบบ FOCS พบว่าคุณภาพผลิตภัณฑ์ขึ้นอย่างมากการผลิตเพิ่มขึ้น 10-25% ลดการใช้เชื้อเพลิงลงได้ 5 - 30% และยังส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง

(Andreas Steinböck & Andreas Kugi, 2013) ได้ทำการศึกษาวิจัยการควบคุมประสิทธิภาพของเตาเผาเหล็กที่ให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องโดยประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นตรง (nonlinear model) เป็นเครื่องมือในการศึกษาถึงอิทธิพลของอากาศส่วนเกินและอุณหภูมิของก๊าซที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงภายในเตาเผาเหล็ก ผลจากการศึกษาของเตาเผาเหล็กที่ให้ความร้อนกับแผ่นเหล็กแท่งแบนแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองได้ทำนายว่าการควบคุมอุณหภูมิที่ให้ความร้อนกับแผ่นเหล็กแท่งแบนสามารถส่งผลไปยังปัจจัยต่างๆ และทำให้เกิดการใช้พลังงานภายในเตาเผาเหล็กลดลงได้ 9.6%

(Filipe A. T. Silveira & Guilherme V. Raffo, 2017) ได้ทำการศึกษาวิจัยการควบคุมปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติที่เหมาะสมภายในเตาเผาเหล็กแผ่นม้วน โดยงานวิจัยนี้มี

จุดประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางที่ใช้ในการควบคุมปริมาณการใช้ก๊าซที่เหมาะสมภายในเตาเผาเหล็ก
กรณีศึกษาของบริษัท Aperam South America ทั้งนี้เพื่อมุ่งหมายให้เกิดการใช้ก๊าซที่ลดลง ซึ่ง
งานวิจัยดังกล่าวนี้เริ่มต้นด้วยการคำนวณประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเตาเผาเหล็ก การวิเคราะห์
ข้อจำกัดหรือเงื่อนไขในการออกแบบควบคุม ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้มีการควบคุมอัตราส่วนของ
การผสมผสานระหว่างก๊าซที่ได้จากเตาสูง (Blast Furnace Gas : BFG) กับก๊าซธรรมชาติ (Natural
Gas : NG) การทดลองครั้งนี้เหล็กปริมาณ 640 ตัน ของบริษัท Aperam South America ได้ถูกทำ
การผลิตขึ้นโดยทดลองใช้แนวทางการควบคุมอัตราส่วนของก๊าซที่ใช้ในเตาเผาเหล็ก ผลการทดลอง
พบว่าจากการผลิตเหล็กหลายประเภทโดยใช้แนวทางการควบคุมที่ออกแบบไว้นั้นสามารถลดการใช้
เชื้อเพลิงลงได้จริงและยังคงประสิทธิภาพความร้อนของเตาเผาได้เหมือนเดิม การลดลงของการใช้
เชื้อเพลิงนี้เป็นไปได้ด้วยการใช้สถานีผสมก๊าซ ที่ลดปริมาณก๊าซธรรมชาติให้ใช้น้อยที่สุดเนื่องจากก๊าซ
ธรรมชาติเป็นหนึ่งในปัจจัยการผลิตที่มีค่าใช้จ่ายมากที่สุดในกระบวนการนี้ และเพิ่มปริมาณการใช้
BFG ที่เป็น by product ผลิตขึ้นได้ในโรงงาน อย่างไรก็ตามการลดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติจะมี
ค่าแตกต่างกันไปในแต่ละประเภทเหล็กที่ใช้ในการผลิต ซึ่งการทดลองนี้สามารถลดการใช้ก๊าซ
ธรรมชาติลงได้ต่ำสุดอยู่ที่ 9.4% หรือสามารถประหยัดการใช้ก๊าซลงได้เฉลี่ยต่อเดือนที่ 66,000 ลบ.ม.



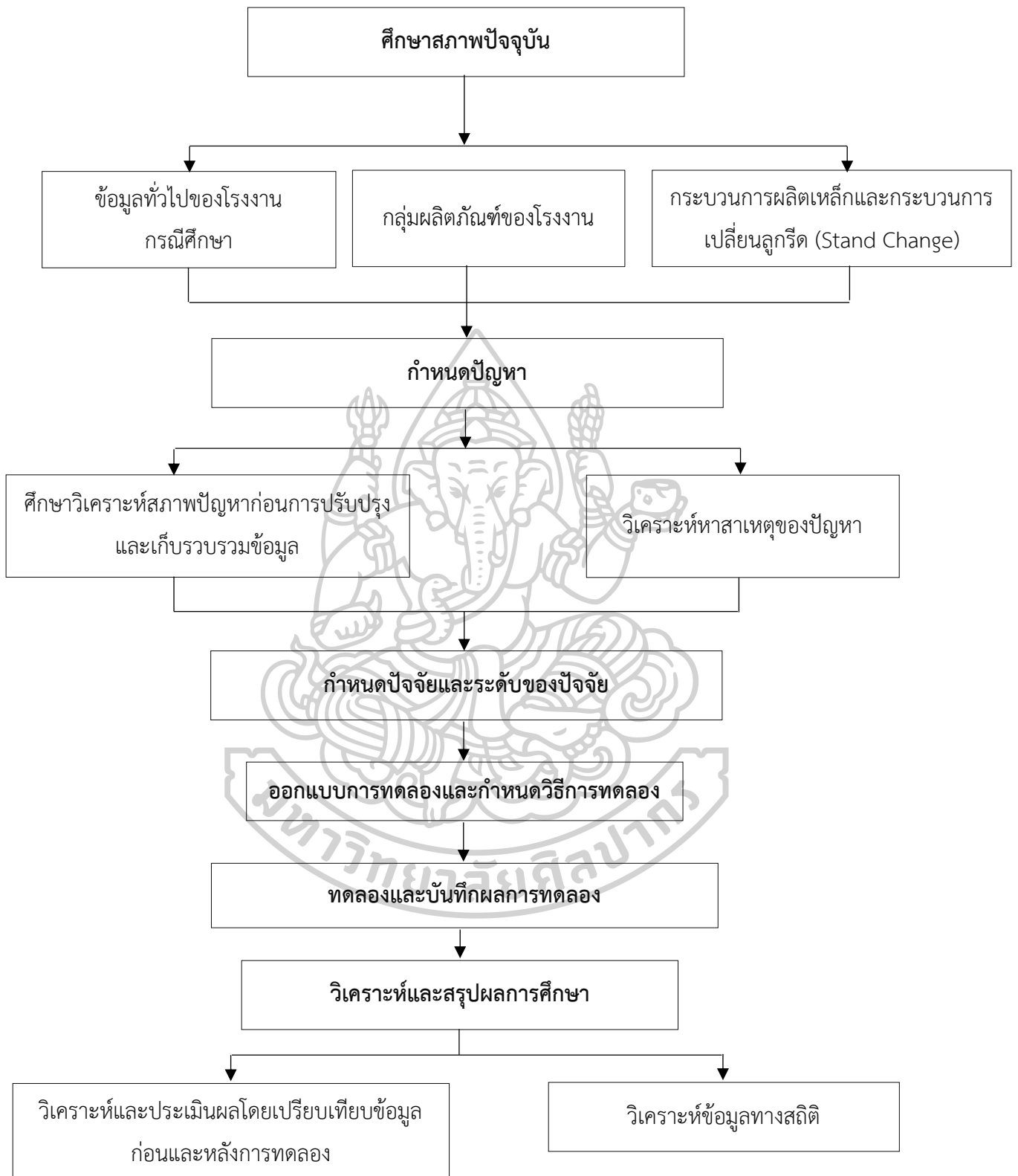
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงต้นทุนที่สูญเสียไปของปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติภายในเตาอบเหล็กที่ร้อนของกระบวนการเปลี่ยนลูกรีด (Stand Change) และหาวิธีในการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กเพื่อช่วยลดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการเปลี่ยนลูกรีดให้ลดลงได้มากที่สุด โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

การวิเคราะห์ปัญหาเพื่อหาสาเหตุและนำเสนอขั้นตอนรายละเอียดตามขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง ประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

- 3.1 ศึกษาสภาพปัจจุบัน
 - 3.1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานการศึกษา
 - 3.1.2 กลุ่มผลิตภัณฑ์ของโรงงาน
 - 3.1.3 กระบวนการผลิตและกระบวนการเปลี่ยนลูกรีด (Stand Change)
- 3.2 กำหนดปัญหา
 - 3.2.1 ศึกษาวิเคราะห์สภาพปัญหาก่อนการปรับปรุงและเก็บรวบรวมข้อมูล
 - 3.2.2 วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา
- 3.3 กำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัย
- 3.4 ออกแบบการทดลองและกำหนดวิธีการทดลอง
- 3.5 ทดลองและบันทึกผลการทดลอง
- 3.6 วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา
 - 3.6.1 เปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการทดลอง
 - 3.6.2 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

รายละเอียดแผนผังขั้นตอนการดำเนินวิจัย แสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินวิจัย

3.1 ศึกษาสภาพปัจจุบัน

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยจะทำการศึกษาสภาพปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษาที่ตั้งอยู่ในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง โดยศึกษาข้อมูล ดังต่อไปนี้

3.1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา

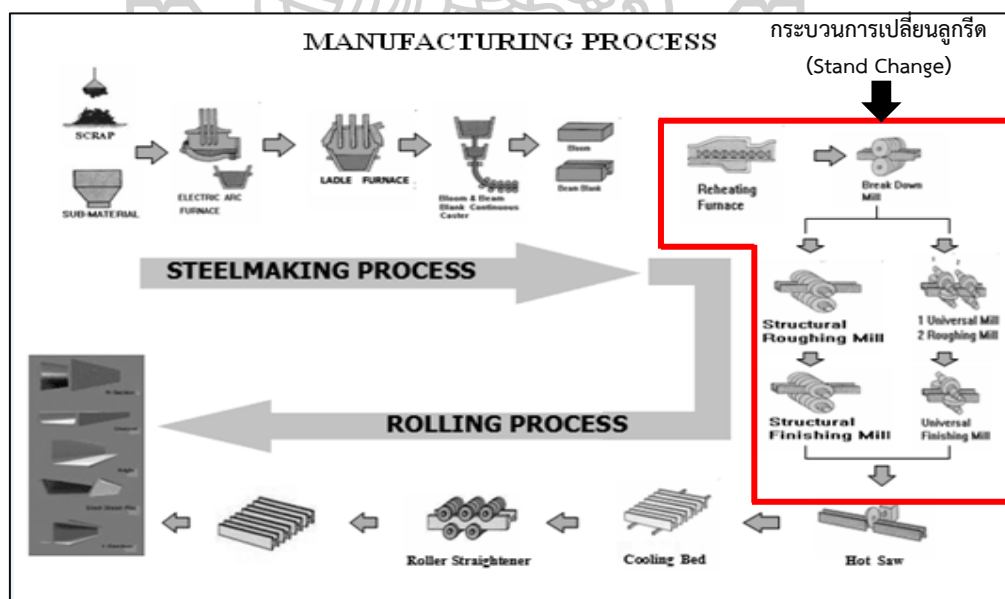
โรงงานกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อนรายใหญ่ที่สุดของประเทศ โดยมีกำลังการผลิตเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อนได้ถึงปีละ 1,100,000 ตัน และได้รับการรับรองมาตรฐานต่างๆ อาทิเช่น TIS, JIS, BS, ASTM, EURONORM, AS/NZS, MS และ SNI เป็นต้น

3.1.2 กลุ่มผลิตภัณฑ์ของโรงงาน

กลุ่มผลิตภัณฑ์ของโรงงานเป็นเหล็กที่นำมาใช้ในงานก่อสร้างมีหลากหลายชนิดตั้งแต่ใช้เป็นส่วนประกอบเล็กๆ อย่างการประดับตกแต่งอาคาร หรือใช้เป็นส่วนประกอบเพื่อเสริมแรงร่วมกับวัสดุอื่นจนไปถึงใช้เพื่อเป็นโครงสร้างหลักของอาคาร ผลิตภัณฑ์เหล็กของโรงงานแบ่งออกเป็น 6 ประเภท ได้แก่ 1.เอช-บีม (H-Beam) 2.ไอ-บีม (I-Beam) 3.เหล็กรางน้ำ (Channel) 4.เหล็กฉาก (Angle) 5.คัท-บีม (Cut Beam) และ 6.ชีทไพล์ (Sheet Pile)

3.1.3 กระบวนการผลิตและกระบวนการเปลี่ยนลูกรีด (Stand Change)

ผู้วิจัยจะทำการศึกษาภาพรวมของกระบวนการผลิตเหล็กรีดร้อน รวมไปถึงศึกษาระบวนการทำงานของเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีดซึ่งเป็นหนึ่งในขั้นตอนของกระบวนการผลิตเหล็ก โดยกระบวนการเปลี่ยนลูกรีดนั้นมีขอบเขตการทำงานแสดงดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ขอบเขตการทำงานของกระบวนการเปลี่ยนลูกรีด ในกระบวนการผลิตเหล็กรีดร้อน

3.2 ศึกษาปัญหาความสูญเสียและแนวทางการแก้ไข้ปัญหา

ในการวิจัยจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลและสาเหตุของปัญหาก่อนการปรับปรุง และหาแนวทางในการแก้ไข้ปัญหา ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.2.1 ศึกษาวิเคราะห์สภาพปัญหาก่อนการปรับปรุงและเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วย

3.2.1.1 ศึกษาขั้นตอนการเปลี่ยนลูกรีดช่วงที่มีการหยุดผลิต รายละเอียดดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 แผนผังขั้นตอนการเปลี่ยนลูกรีดก่อนการปรับปรุง

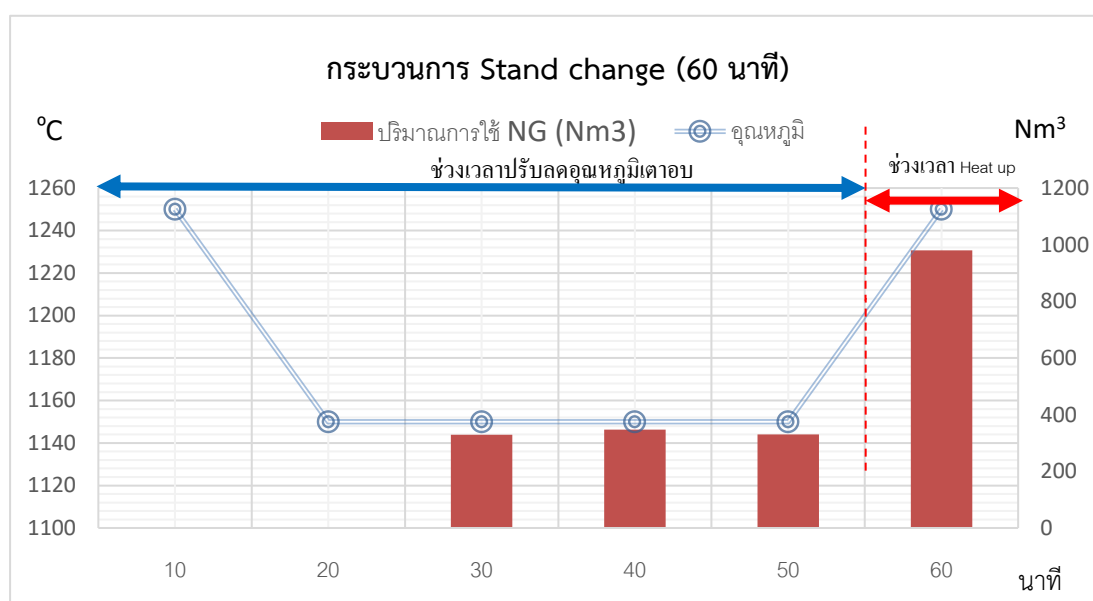
3.2.1.2 ศึกษากระบวนการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด

ในสภาพก่อนการปรับปรุง ช่วงกระบวนการเปลี่ยนลูกรีดแต่ละครั้งจะใช้ระยะเวลา 60 นาที ซึ่งการเปลี่ยนลูกรีดทุกครั้งจะมีการปรับตั้งค่าใน 3 ปัจจัยเพื่อควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กให้พร้อมสำหรับการเปลี่ยนลูกรีด ดังต่อไปนี้

- 1) อุณหภูมิโดยปรับลดอุณหภูมิภายในเตาอบเหล็กลงมาที่อุณหภูมิ 1,150°C ซึ่งจะควบคุมอุณหภูมิของ Heating Zone และ Soaking Zone ไว้ที่ 1,150°C
- 2) ปรับตั้งค่าอัตราส่วนอากาศ : ก๊าซภายในเตาอบเหล็กที่ 0.95 และ

3) ปรับตั้งค่าความดันภายในเตาอบเหล็กที่ 2.5 บาร์

โดยหลังจากการเปลี่ยนลูกรีดแล้วเสร็จจะต้องทำการปรับตั้งค่าโดยเพิ่มอุณหภูมิภายในเตาอบเหล็กขึ้นไปยังอุณหภูมิที่ควบคุมในช่วงรีดเหล็กที่ $1,250^{\circ}\text{C}$ ซึ่งในขั้นตอนนี้เอง จำเป็นที่จะต้องมีการนำก๊าซธรรมชาติส่วนหนึ่งมาใช้ในการช่วยเพิ่มอุณหภูมิภายในเตาอบเหล็กเพื่อให้สามารถกลับมาสู่สภาวะการทำงานของเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการผลิตได้ตามปกติ (อธิบายได้ดังภาพที่ 3.4)



ภาพที่ 3.4 การควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีดก่อนการปรับปรุง

3.2.1.3 เก็บรวบรวมข้อมูลก่อนการปรับปรุง

จากการศึกษากระบวนการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีดดังกล่าว ผู้วิจัยพบต้นทุนค่าใช้จ่ายของการใช้ก๊าซธรรมชาติจำนวนหนึ่งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็ก ซึ่งจัดว่าเป็นต้นทุนที่ต้องสูญเสียไปโดยที่ไม่ได้ก่อให้เกิดผลผลิต ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงจากบันทึกปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติสำหรับการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด โดยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 (ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 3.1)

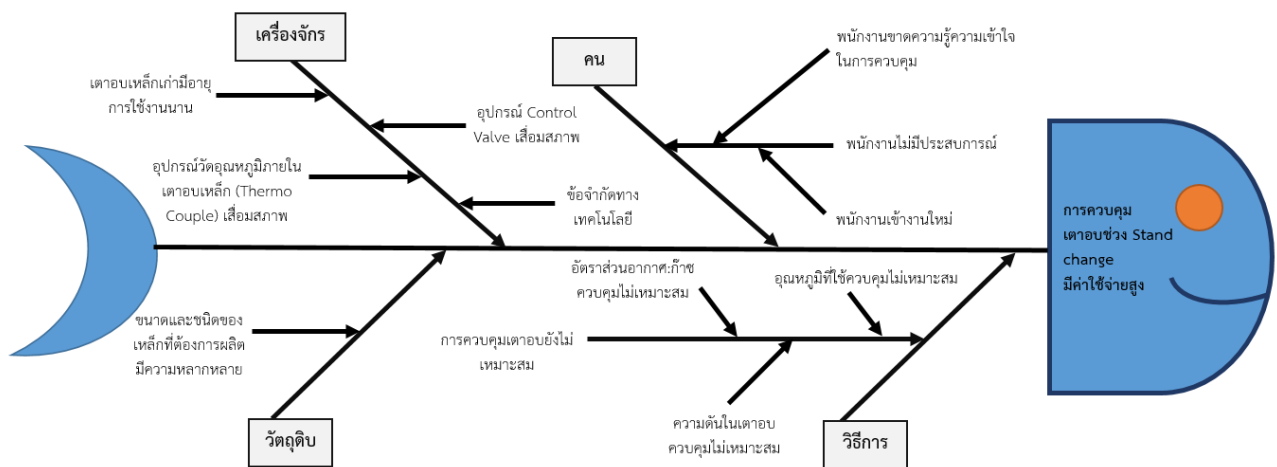
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติสำหรับการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กในช่วงที่มี
การเปลี่ยนลูกรีด (มกราคม – ธันวาคม ปี 2560)

| เดือน | จำนวน stand change ทั้งหมด (ครั้ง) | ปริมาณ NG ที่ใช้ ในการ Stand change ทั้งหมด (Nm ³) | ค่าใช้จ่าย NG ในการ Stand change ทั้งหมด (บาท)* | ปริมาณการใช้ NG ในการ Stand change เฉลี่ย/ครั้ง (Nm ³) | ค่าใช้จ่าย NG ในการ Stand change เฉลี่ย/ครั้ง (บาท)* |
|------------|--|---|--|---|---|
| มกราคม | 21 | 29,942 | 254,208 | 1,426 | 12,102 |
| กุมภาพันธ์ | 25 | 35,607 | 302,303 | 1,424 | 12,089 |
| มีนาคม | 27 | 38,424 | 326,220 | 1,423 | 12,079 |
| เมษายน | 27 | 38,493 | 326,806 | 1,426 | 12,100 |
| พฤษภาคม | 27 | 38,507 | 326,924 | 1,426 | 12,105 |
| มิถุนายน | 24 | 34,131 | 289,772 | 1,422 | 12,070 |
| กรกฎาคม | 27 | 38,433 | 326,296 | 1,423 | 12,081 |
| สิงหาคม | 25 | 35,532 | 301,667 | 1,421 | 12,063 |
| กันยายน | 26 | 36,993 | 314,071 | 1,423 | 12,076 |
| ตุลาคม | 29 | 41,276 | 350,433 | 1,423 | 12,080 |
| พฤศจิกายน | 28 | 39,928 | 338,989 | 1,426 | 12,103 |
| ธันวาคม | 19 | 27,064 | 229,773 | 1,424 | 12,090 |
| รวม | 305 | 404,388 | 3,687,462 | | |

หมายเหตุ *ต้นทุนก๊าซธรรมชาติราคา 8.49 บาท/หน่วย (Nm³) ในปี 2560

3.2.2 วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

งานวิจัยนี้ได้้นำเครื่องมือควบคุมคุณภาพ QC 7 Tools โดยใช้แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) มาเป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาต้นทุนค่าใช้จ่ายของการใช้ก๊าซธรรมชาติที่ต้องสูญเสียไปโดยที่ไม่ได้ก่อให้เกิดผลผลิตช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีดในกระบวนการผลิต ซึ่งจากการระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์และค้นหาสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดในการก่อให้เกิดต้นทุนที่สูงของปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติภายในเตาอบเหล็กช่วงที่มีการเปลี่ยนแบบลูกรีด โดยทั่วไปสามารถพิจารณาโดยใช้หลักการแบบ 4M ประกอบด้วย คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) และวิธีการ (Method) โดยพบว่ามีผลของการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนผังสาเหตุและผล แสดงดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 แผนผังสาเหตุและผลของปัญหาต้นทุนค่าใช้จ่ายของการใช้ก๊าซธรรมชาติ
ช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด

ผลของการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนผังสาเหตุและผล มีดังนี้

3.2.2.1 คน (man)

- 1) พนักงานยังขาดประสบการณ์ในการทำงานหรือแก้ไขปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้น
- 2) พนักงานขาดความรู้ความเข้าใจในการควบคุมการทำงานภายในเตาอบเหล็ก ทำให้เกิดการตั้งค่าการทำงานภายในเตาอบเหล็กที่ไม่เหมาะสมและถูกต้องได้
- 3) พนักงานเข้างานใหม่ อาจทำให้ขาดทักษะความเชี่ยวชาญในการเปลี่ยนแบบลูกรีดส่งผลทำให้ต้องใช้ระยะเวลานานในกระบวนการทำงานนั้นๆ ได้

3.2.2.2 เครื่องจักร (Machine)

- 1) เตาอบเหล็กเก่ามีอายุการใช้งานนาน ส่งผลทำให้ฉนวนความร้อน วัสดุทนไฟของเตาอบเหล็กเกิดการเสื่อมสภาพไปตามอายุการใช้งาน ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบคือ เตาอบเหล็กสามารถเก็บความร้อนภายในเตาได้น้อยลงทำให้เกิดความสูญเสียความร้อนเพิ่มมากขึ้นจนต้องมีการตั้งปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติมากขึ้นเพื่อรักษาอุณหภูมิภายในเตาให้ได้ตามอุณหภูมิที่ต้องการ
- 2) อุปกรณ์ Control Valve เสื่อมสภาพ ทำให้การเปิดปิดของอุปกรณ์ไม่สามารถทำงานได้ตามที่ตั้งค่าไว้ ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดของการทำงานได้และก่อให้เกิดการใช้ปริมาณก๊าซธรรมชาติที่เพิ่มสูงขึ้นได้

3) อุปกรณ์วัดอุณหภูมิภายในเตาอบเหล็ก (Thermo Couple) เสื่อมสภาพ ทำให้อ่านอุณหภูมิภายในเตาอบเหล็กผิดพลาดไป ส่งผลทำให้เกิดการใช้ปริมาณก๊าซธรรมชาติที่เพิ่มสูงขึ้นได้

4) ข้อจำกัดด้านเทคโนโลยี เนื่องจากเตาอบเหล็กที่ใช้อยู่ในกระบวนการผลิตนั้นมีความล้าสมัย ทำให้เมื่อต้องมีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ภายในเตาอบเหล็กเมื่อเสื่อมสภาพหรือเสียหายส่งผลทำให้ไม่สามารถปรับเปลี่ยนอุปกรณ์แบบใหม่ได้ หรือจำเป็นต้องมีการศึกษาและออกแบบการทำงานภายในเตาอบเหล็กใหม่

3.2.2.3 วัสดุดิบ (Material)

ขนาดและชนิดของเหล็กที่ต้องการผลิตมีความหลากหลาย เนื่องจากในกระบวนการผลิตจำเป็นต้องมีการผลิตเหล็กรูปพรรณตามคำสั่งซื้อของลูกค้า จึงทำให้ไม่สามารถกำหนดขนาดและชนิดของเหล็กที่จะนำเข้ามาคิดเป็นผลิตภัณฑ์ในแต่ละครั้งของกระบวนการผลิตได้ ส่งผลทำให้ไม่สามารถที่จะควบคุมปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการผลิตเหล็กจนอาจก่อให้เกิดการใช้ปริมาณก๊าซธรรมชาติที่เพิ่มสูงขึ้นจากการผลิตที่มีความหลากหลายได้

3.2.2.4 วิธีการ (Method)

การปรับตั้งค่าควบคุมการทำงานภายในเตาอบเหล็กยังไม่เหมาะสม ได้แก่

1) อุณหภูมิ หากปรับตั้งค่าสูงเกินไปอาจส่งผลให้มีการตั้งปริมาณก๊าซธรรมชาติมาใช้สูง หรือหากปรับตั้งค่าต่ำเกินไปจะส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อน (Heat up) กับเตาอบเหล็กจนกว่าจะได้อุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตทำให้มีการตั้งปริมาณก๊าซธรรมชาติมาใช้สูงเช่นเดียวกัน

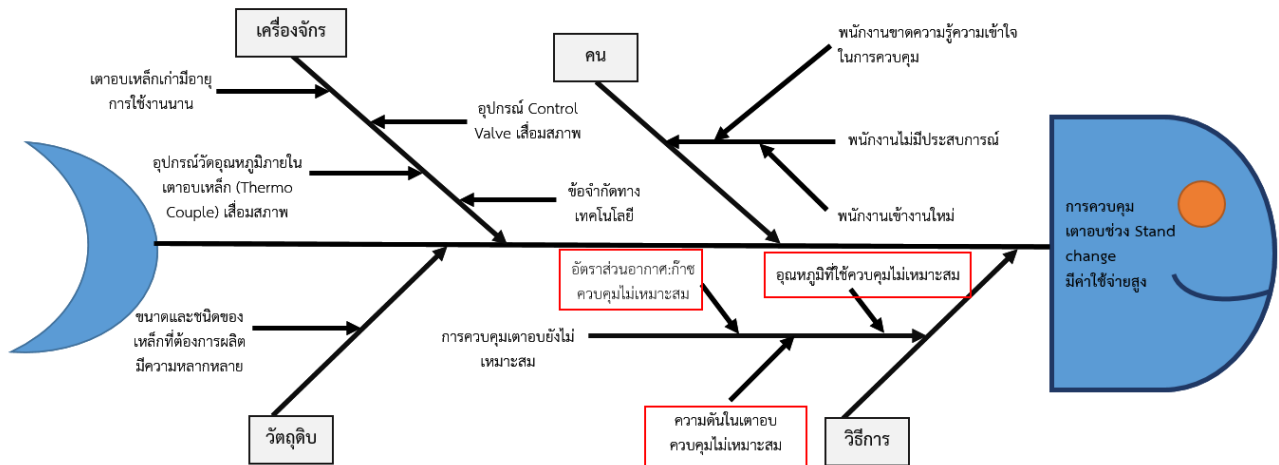
2) อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ หากปรับตั้งค่าสูงเกินไปหรือต่ำเกินไปจะส่งผลต่อการทำงานภายในเตาอบเหล็กทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการตั้งปริมาณก๊าซธรรมชาติมาใช้

3) ความดัน หากปรับตั้งค่าสูงเกินไปหรือต่ำเกินไปจะส่งผลต่อการทำงานภายในเตาอบเหล็กและการตั้งปริมาณก๊าซธรรมชาติมาใช้

3.3 กำหนดปัจจัย

จากการวิเคราะห์แผนผังสาเหตุและผล ดังภาพที่ 3.5 สามารถสรุปได้ว่าสาเหตุหลักสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาต้นทุนค่าใช้จ่ายของการใช้ก๊าซธรรมชาติที่ต้องสูญเสียไปสำหรับการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กในช่วงกระบวนการเปลี่ยนลูกรีดมาจากสาเหตุต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นคน เครื่องจักร วัสดุดิบ และวิธีการ แต่ผู้วิจัยพบว่าปัจจัยสำคัญที่สามารถควบคุมได้และส่งผลกระทบต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติมีเพียงปัจจัยด้านวิธีการทำงาน อันประกอบด้วย 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ อุณหภูมิ

(Temp), อัตราส่วนอากาศ : ก๊าซ (Ratio), และความดัน (Pressure) ภายในเตาอบเหล็ก (แสดงดังภาพที่ 3.6) ซึ่งปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการปรับตั้งค่าเพื่อควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด โดยผู้วิจัยได้พิจารณาถึงความเป็นไปได้ของการกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.2



ภาพที่ 3.6 แผนผังสาเหตุและผลของปัจจัยที่สามารถควบคุมได้และส่งผลกระทบต่อปริมาณการใช้ก๊าซในกระบวนการผลิตช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด

ตารางที่ 3.2 การพิจารณาความเป็นไปได้ของการกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

| ปัจจัย | ความเป็นไปได้ของการกำหนดปัจจัยในการทดลอง | | เหตุผล |
|-----------------------|--|-----------------|--|
| | ดำเนินการได้ | ดำเนินการไม่ได้ | |
| คน (man) | | ✓ | ปัจจัยการทำงานของคน เป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ยาก เนื่องจากประสบการณ์การทำงานและระดับทักษะแต่ละคนไม่เท่ากัน ถึงแม้มีการจัดอบรมให้กับพนักงานใหม่ แต่ด้านการควบคุมต้องอาศัยการทำบ่อยๆ การทำแบบซ้ำๆ หลายครั้งจนกว่าจะชำนาญ ดังนั้นต้องใช้เวลาเป็นปี และบางแผนกอาจใช้เวลาหลายปี |
| เครื่องจักร (Machine) | | ✓ | เนื่องจากการลงทุนด้านเครื่องจักรเป็นการลงทุนที่มีมูลค่าสูง ทำให้มีความจำเป็นต้องศึกษาความคุ้มค่าซึ่งใช้ระยะเวลานานและด้วยสถานะเศรษฐกิจในปัจจุบัน ที่บริษัทต้องลดต้นทุนค่าใช้จ่ายเพื่อให้บริษัทมีกำไร และสามารถแข่งขันในตลาดในสถานะเศรษฐกิจที่ไม่ดี ดังนั้นการเสนอโครงการต่อผู้บริหารเพื่อเปลี่ยนหรือทดแทนเครื่องจักรเดิมจึงต้องใช้เวลาหลายปีและอาจจะชดเชยโครงการหากสถานะเศรษฐกิจยังมีแนวโน้มที่ไม่ดี |

ตารางที่ 3.2 การพิจารณาความเป็นไปได้ของการกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)

| ปัจจัย | ความเป็นไปได้ของการกำหนดปัจจัย ในการทดลอง | | เหตุผล |
|------------------------|--|-----------------|--|
| | ดำเนินการได้ | ดำเนินการไม่ได้ | |
| วัตถุดิบ (Material) | | ✓ | เนื่องจากในกระบวนการผลิตจำเป็นต้องมีการผลิตเหล็กรูปพรรณตามคำสั่งซื้อของลูกค้าจึงทำให้ไม่สามารถกำหนดขนาดและชนิดของเหล็กที่จะนำเข้ามาคิดเป็นผลิตภัณฑ์ในแต่ละครั้งของกระบวนการผลิตได้ |
| วิธีการ (Method) | ✓ | | เป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ โดยสามารถที่จะเก็บข้อมูลและสามารถทำการทดลองได้เลยโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ อีกทั้งปัจจัยด้านวิธีการสามารถศึกษาได้ถึงความเหมาะสมของวิธีการควบคุมและสามารถกำหนดเป็นคู่มือปฏิบัติงานเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานไม่ว่าจะเป็นคนเก่าหรือคนที่เข้ามาใหม่สามารถปฏิบัติตามได้ในมาตรฐานเดียวกัน |

ทั้งนี้การปรับตั้งค่าต่างๆ ในการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีดตามขั้นตอนการดำเนินงานที่กำหนดแบบเดิมก่อนการทดลอง มีค่าแสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การปรับตั้งค่าปัจจัยในการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีดแบบเดิม

| ลำดับ | ปัจจัยควบคุม | ค่าที่ปรับตั้ง | หน่วย |
|-------|---------------------------------------|----------------|-------------------|
| 1 | อุณหภูมิภายในเตาอบเหล็ก | 1,150 | องศาเซลเซียส (°C) |
| 2 | อัตราส่วนอากาศ : ก๊าซ ภายในเตาอบเหล็ก | 0.95 | - |
| 3 | ความดันภายในเตาอบเหล็ก | 2.5 | บาร์ |

3.4 ออกแบบการทดลองและกำหนดวิธีการทดลอง

ผู้วิจัยจะทำการออกแบบการทดลองและกำหนดวิธีการทดลองเพื่อหาปัจจัยในการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กในการที่จะช่วยลดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการเปลี่ยนลูกรีดให้ลดลงมากที่สุด โดยมีรายละเอียด ดังนี้

3.4.1 ออกแบบการทดลอง

3.4.1.1 การเลือกใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ

จากการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้เครื่องมือแผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) พบว่าปัจจัยควบคุมที่มีผลต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติภายในเตาอบเหล็กช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีดนั้นมีอยู่ด้วยกัน 3 ปัจจัย ประกอบด้วย

- 1) อุณหภูมิภายในเตาอบเหล็ก (Temp)
- 2) อัตราส่วนอากาศ : ก๊าซ (Ratio)
- 3) ความดันในเตาอบเหล็ก (Pressure)

ปัจจัยควบคุมทั้ง 3 ปัจจัยดังกล่าวนี้จะถูกนำไปใช้ในการออกแบบการทดลองเพื่อหาวิธีในการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กที่สามารถช่วยลดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการเปลี่ยนลูกรีดให้ลดลงได้มากที่สุด ซึ่งการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยจะใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) โดยเลือกใช้วิธีการทางสถิติแบบ 3-Level Full factorial design (3^k) ซึ่งประกอบด้วย การทดลองที่มี 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำระดับกลางและระดับสูง การทดลองแบบนี้จะมีระดับที่สามของปัจจัยเพิ่มเข้ามาในแบบจำลอง ซึ่งทำให้สามารถที่จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบ และปัจจัยที่สนใจได้ งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ตัดสินใจเลือกใช้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3 ระดับ โดยพิจารณาจากรูปแบบการทดลองที่นิยมใช้ในปัจจุบัน รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 รูปแบบของการออกแบบการทดลองที่นิยมใช้

| รูปแบบ | ลักษณะของการทดลอง | เวลาที่ใช้ | ความแม่นยำ | งบประมาณ |
|------------------|---|------------|------------|----------|
| Single Factor | ทำการทดลองสำหรับ 1 ปัจจัย | รวดเร็ว | ปานกลาง | น้อย |
| Factorial Design | ทำการทดลองที่มากกว่า 1 ปัจจัย เต็มรูปแบบ | ใช้เวลามาก | มากที่สุด | มาก |
| 2^k Design | ทำการทดลองที่มากกว่า 1 ปัจจัย เต็มรูปแบบ กำหนดระดับของปัจจัยอยู่ที่ 2 ระดับ | ปานกลาง | ปานกลาง | ปานกลาง |
| 2^{k-p} Design | ทำการทดลองที่มากกว่า 1 ปัจจัย แต่ลดรูป | รวดเร็ว | น้อย | น้อย |
| 3^k Design | ทำการทดลองที่มากกว่า 1 ปัจจัย เต็มรูปแบบ กำหนดระดับของปัจจัยอยู่ที่ 3 ระดับ | ใช้เวลามาก | มากที่สุด | มาก |

ที่มา : (บุญชัย แซ่สีว & ณัฐธยาน์ โสกุล, 2559)

ในงานวิจัยครั้งนี้เนื่องจากปัจจัยควบคุมที่ใช้ทำการทดลองมีเพียง 3 ปัจจัย ดังนั้นผู้วิจัยจึงพิจารณาแล้วว่าการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3 ระดับเป็นทางเลือกที่ดีและเหมาะสม โดยมีข้อดีคือ ไม่มีการเกิดผลให้ปัจจัยที่ได้มีค่าปนกัน และสามารถวิเคราะห์ปัจจัยหลัก

(Main Effect) และความสัมพันธ์ (Interaction) ได้ทั้งหมด นอกจากนี้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3 ระดับ จะให้ผลที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงกว่ารูปแบบการทดลองอื่น รวมถึงเวลาที่ใช้ในการทดลองไม่มากนักและไม่มีต้นทุนค่าใช้จ่ายเนื่องจากการดำเนินการทดลองตามแผนการเปลี่ยนลูกรีดประจำเดือนในกระบวนการผลิตของบริษัทฯ อยู่แล้ว

3.4.1.2 การกำหนดปัจจัยควบคุมและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

การออกแบบการทดลองผู้วิจัยได้กำหนดปัจจัยควบคุมและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองออกเป็น 3 ระดับ (รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3.5) ซึ่งในแต่ละระดับของปัจจัยควบคุมที่ผู้วิจัยพิจารณากำหนดค่าขึ้นมานั้น สามารถอธิบายที่มาของการกำหนดระดับของปัจจัยต่างๆ ได้ดังนี้

1) ปัจจัยอุณหภูมิภายในเตาอบเหล็ก

การปรับตั้งค่าอุณหภูมิภายในเตาอบเหล็กสามารถที่จะปรับตั้งค่าโดยต้องอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ $900^{\circ}\text{C} - 1,250^{\circ}\text{C}$ เท่านั้น เนื่องจากช่วงอุณหภูมิดังกล่าวเป็นช่วงอุณหภูมิที่เตาอบเหล็กสามารถทำการผลิตได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้กำหนดระดับของปัจจัยอุณหภูมิที่จะทำการศึกษาอยู่ที่ 3 ระดับ ประกอบด้วยค่าที่ 900°C , $1,000^{\circ}\text{C}$ และ $1,100^{\circ}\text{C}$

2) ปัจจัยอัตราส่วนอากาศ : ก๊าซภายในเตาอบเหล็ก

เนื่องจากคู่มือการทำงานของเตาอบเหล็กที่ใช้ในโรงงานกรณีศึกษา จะกำหนดช่วงของการตั้งค่าอัตราส่วนอากาศ : ก๊าซภายในเตาอบเหล็ก โดยต้องอยู่ในช่วงที่มีค่า 0.95-1.05 เท่านั้น จึงจะสามารถทำให้เตาอบเหล็กสามารถทำการผลิตได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้กำหนดระดับของปัจจัยอัตราส่วนอากาศ : ก๊าซที่จะทำการศึกษาอยู่ที่ 3 ระดับ ประกอบด้วยค่าที่ 0.95, 1.00 และ 1.05

3) ปัจจัยความดันภายในเตาอบเหล็ก

เนื่องจากคู่มือการทำงานของเตาอบเหล็กที่ใช้ในโรงงานกรณีศึกษา จะกำหนดช่วงของการตั้งค่าความดันภายในเตาอบเหล็ก โดยต้องอยู่ในช่วงที่มีค่าที่เหมาะสม คือช่วง 2.3-2.7 บาร์ จึงจะสามารถทำให้เตาอบเหล็กสามารถทำการผลิตได้อย่างปลอดภัย และไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้กำหนดระดับของปัจจัยความดันที่จะทำการศึกษาอยู่ที่ 3 ระดับ ประกอบด้วยค่าที่ 2.3, 2.5 และ 2.7 บาร์

ตารางที่ 3.5 การกำหนดปัจจัยควบคุมและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

| ลำดับ | ปัจจัยควบคุม | สัญลักษณ์ | ระดับของปัจจัย | | | หน่วย |
|-------|--|-----------|----------------|---------------|--------------|-------------------|
| | | | ระดับต่ำ (-) | ระดับกลาง (0) | ระดับสูง (+) | |
| 1 | อุณหภูมิภายในเตาอบเหล็ก | Temp | 900 | 1,000 | 1,100 | องศาเซลเซียส (°C) |
| 2 | อัตราส่วนอากาศ : ก๊าซ ภายในเตาอบเหล็ก | Ratio | 0.95 | 1.00 | 1.05 | - |
| 3 | ความดันภายในเตาอบเหล็ก | Pressure | 2.3 | 2.5 | 2.7 | บาร์ |

ในการทดลองนี้จะทำการทดลองให้ครบทุกเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของทุกปัจจัย และจะต้องวิเคราะห์ผลกระทบต่อยุติปัจจัยตอบสนอง นั่นก็คือ ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติภายในเตาอบเหล็กช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีดทุกกรณี ดังนั้นผู้วิจัยจะต้องมีจำนวนรอบของการทดลอง หรือ Run ทั้งสิ้นเท่ากับ 3^3 หรือเท่ากับ 27 สถานะการทดลอง โดยมีค่าของปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง (Run) ที่แปรผันแสดงดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ค่าของปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง (Run)

| วิธีการทดลอง (Run) | ปัจจัยในการทดลอง | | |
|-----------------------|--|---|---|
| | อุณหภูมิภายในเตาอบเหล็ก (Temp) หน่วย °C | อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ ภายในเตาอบเหล็ก (Ratio) | ความดันภายในเตาอบเหล็ก (Pressure) หน่วย Bar |
| 1 | 900 | 0.95 | 2.3 |
| 2 | 900 | 0.95 | 2.5 |
| 3 | 900 | 0.95 | 2.7 |
| 4 | 900 | 1.00 | 2.3 |
| 5 | 900 | 1.00 | 2.5 |
| 6 | 900 | 1.00 | 2.7 |
| 7 | 900 | 1.05 | 2.3 |
| 8 | 900 | 1.05 | 2.5 |
| 9 | 900 | 1.05 | 2.7 |
| 10 | 1,000 | 0.95 | 2.3 |
| 11 | 1,000 | 0.95 | 2.5 |

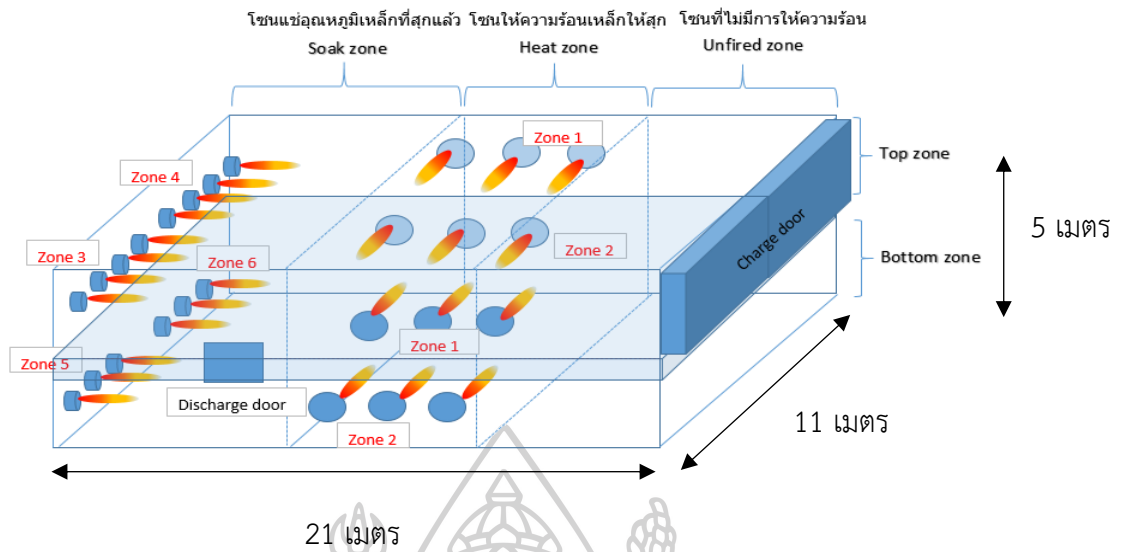
ตารางที่ 3.6 ค่าของปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง (Run) (ต่อ)

| วิธีการทดลอง (Run) | ปัจจัยในการทดลอง | | |
|-----------------------|--|---|---|
| | อุณหภูมิภายในเตาอบ เหล็ก (Temp) หน่วย °C | อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ ภายในเตาอบเหล็ก (Ratio) | ความดันภายในเตาอบเหล็ก (Pressure) หน่วย Bar |
| 12 | 1,000 | 0.95 | 2.7 |
| 13 | 1,000 | 1.00 | 2.3 |
| 14 | 1,000 | 1.00 | 2.5 |
| 15 | 1,000 | 1.00 | 2.7 |
| 16 | 1,000 | 1.05 | 2.3 |
| 17 | 1,000 | 1.05 | 2.5 |
| 18 | 1,000 | 1.05 | 2.7 |
| 19 | 1,100 | 0.95 | 2.3 |
| 20 | 1,100 | 0.95 | 2.5 |
| 21 | 1,100 | 0.95 | 2.7 |
| 22 | 1,100 | 1.00 | 2.3 |
| 23 | 1,100 | 1.00 | 2.5 |
| 24 | 1,100 | 1.00 | 2.7 |
| 25 | 1,100 | 1.05 | 2.3 |
| 26 | 1,100 | 1.05 | 2.5 |
| 27 | 1,100 | 1.05 | 2.7 |

3.4.2 กำหนดวิธีการทดลอง

3.4.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

1) เตาอบเหล็ก (Reheating Furnace) ซึ่งมีขนาดความกว้าง 11 เมตร ความยาว 21 เมตร และความสูง 5 เมตร (ดังภาพที่ 3.7) โดยแสดงเตาอบเหล็กที่ใช้ทำการศึกษาในกระบวนการผลิตของโรงงานดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.7 ขนาดเตาอบเหล็ก



ภาพที่ 3.8 เตาอบเหล็กที่ใช้ทำการศึกษา

2) แบบลูกรีด

3) Burner เป็นชนิด Low NOx Burner มีทั้งหมด 26 Burner ทำหน้าที่ให้ความร้อนโดยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง อุณหภูมิที่ใช้ในการอบเหล็กอยู่ที่ $1,250^{\circ}\text{C}$ โดยช่วงเวลาที่ผลิตปกติจะใช้ Burner ทุกตัวให้ความร้อน

4) มิเตอร์วัดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ (Metering)

5) โปรแกรมควบคุมเตาอบ (PLC, Win cc)

6) Control valve (Gas, Air)

3.4.2.2 เงื่อนไขการทดลอง ประกอบด้วย

1) กำหนดวิธีการทดลองแบ่งออกเป็น 27 สภาวะการทดลอง การทดลองละ 3 ซ้ำ รวมทั้งสิ้น 81 การทดลอง โดยทำการแปรผันค่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ อัตราส่วนอากาศ : ก๊าซ และความดันภายในเตาอบเหล็ก (การแปรผันค่าปัจจัยในแต่ละวิธีการทดลองเป็นไปตามตารางที่ 3.6)

2) สุ่มลำดับก่อนหลังของการทดลองทั้ง 27 สภาวะการทดลอง โดยใช้โปรแกรม Minitab Release 16 (แสดงข้อมูลดังตารางที่ 3.7)

ตารางที่ 3.7 การสุ่มลำดับก่อนหลังการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 16

| วิธีการทดลอง ตามลำดับการสุ่ม | ปัจจัยในการทดลอง | | |
|---------------------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| | อุณหภูมิ (Temp) | อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ (Ratio) | ความดันในเตาอบเหล็ก (Pressure) |
| 7 | 900 | 1.05 | 2.3 |
| 23 | 1,100 | 1.00 | 2.5 |
| 18 | 1,000 | 1.05 | 2.7 |
| 2 | 900 | 0.95 | 2.5 |
| 11 | 1,000 | 0.95 | 2.5 |
| 17 | 1,000 | 1.05 | 2.5 |
| 8 | 900 | 1.05 | 2.5 |
| 1 | 900 | 0.95 | 2.3 |
| 27 | 1,100 | 1.05 | 2.7 |
| 25 | 1,100 | 1.05 | 2.3 |
| 16 | 1,000 | 1.05 | 2.3 |
| 4 | 900 | 1.00 | 2.3 |
| 14 | 1,000 | 1.00 | 2.5 |
| 22 | 1,100 | 1.00 | 2.3 |
| 6 | 900 | 1.00 | 2.7 |
| 24 | 1,100 | 1.00 | 2.7 |
| 19 | 1,100 | 0.95 | 2.3 |
| 15 | 1,000 | 1.00 | 2.7 |
| 21 | 1,100 | 0.95 | 2.7 |

ตารางที่ 3.7 การสุ่มลำดับก่อนหลังการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 16 (ต่อ)

| วิธีการทดลอง ตามลำดับการสุ่ม | ปัจจัยในการทดลอง | | |
|---------------------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| | อุณหภูมิ (Temp) | อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ (Ratio) | ความดันในเตาอบเหล็ก (Pressure) |
| 10 | 1,000 | 0.95 | 2.3 |
| 26 | 1,100 | 1.05 | 2.5 |
| 20 | 1,100 | 0.95 | 2.5 |
| 9 | 900 | 1.05 | 2.7 |
| 13 | 1,000 | 1.00 | 2.3 |
| 12 | 1,000 | 0.95 | 2.7 |
| 5 | 900 | 1.00 | 2.5 |
| 3 | 900 | 0.95 | 2.7 |

3) กำหนดระยะเวลาการทดลอง วิธีการทดลองละ 60 นาที เท่ากันทุกการทดลอง

4) กำหนดให้มีการทดลอง 1 แบบการทดลอง/1 ครั้งที่มีการเปลี่ยนลูกรีด

5) เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas; NG)

6) ทุกการทดลองใช้ Burner ชนิด Low NOx Burner ดังนี้

- Burner Zone 3 จำนวน 4 หัว

- Burner Zone 4 จำนวน 4 หัว

- Burner Zone 5 จำนวน 3 หัว

- Burner Zone 6 จำนวน 3 หัว

3.4.2.3 ขั้นตอนทดลองวิจัย ประกอบด้วย

1) ทำการสุ่มลำดับการทดลองสำหรับการ Stand Change ทั้ง 81 การทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 16

2) วางแผนรอบของการ Stand Change ตามลำดับการสุ่มทดลองที่ได้จากโปรแกรม Minitab Release 16

3) เมื่อทำการทดลองให้หยุดการผลิตเพื่อเตรียม Stand Change

4) จดบันทึกค่า Flow gas (Nm^3/m) และปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติภายในเตาอบเหล็ก (Nm^3/h) ก่อนทำการทดลอง

5) เตรียม Stand Change โดยทำการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการ Stand Change แต่ละแบบการทดลอง ดังนี้

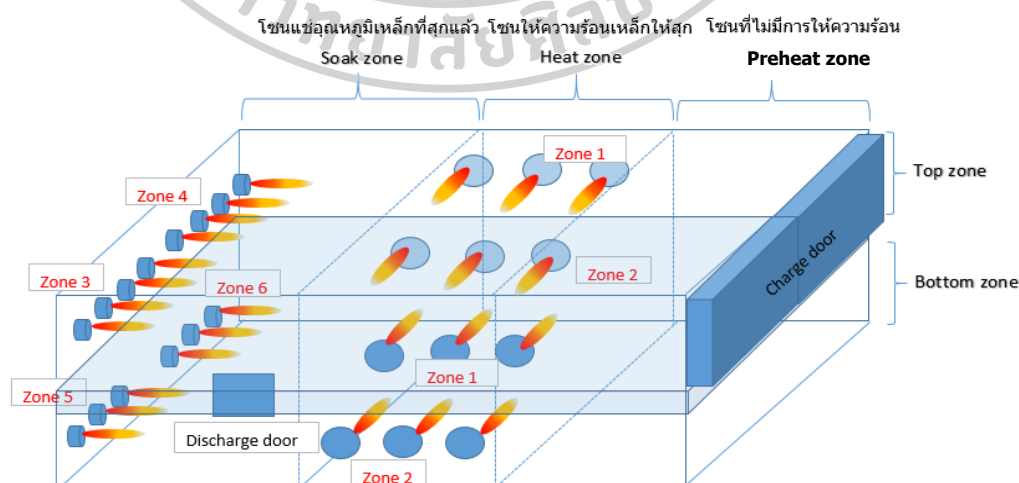
- เปิด Burner ทั้งหมดในเตาอบเหล็ก ประกอบด้วย Burner Zone 5 และ Zone 6 จำนวน 6 หัว, Burner Zone 3 และ Zone 4 จำนวน 8 หัว, Burner Zone 1 และ Zone 2 จำนวน 12 หัว จากนั้นจ่ายก๊าซธรรมชาติไปยัง Burner ทั้งหมด ดังวิธีการในภาพที่ 3.9
- ทำการควบคุมอุณหภูมิภายในเตาอบเหล็ก อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ และความดันในเตาอบเหล็ก โดยปรับตั้งค่าของ 3 ปัจจัยในแต่ละแบบการทดลองแปรผันตามตารางที่ 3.5 โดยปรับค่าที่ Soaking zone และ Heating zone

6) ทำการ Stand Change กำหนดระยะเวลา 60 นาที/ครั้ง

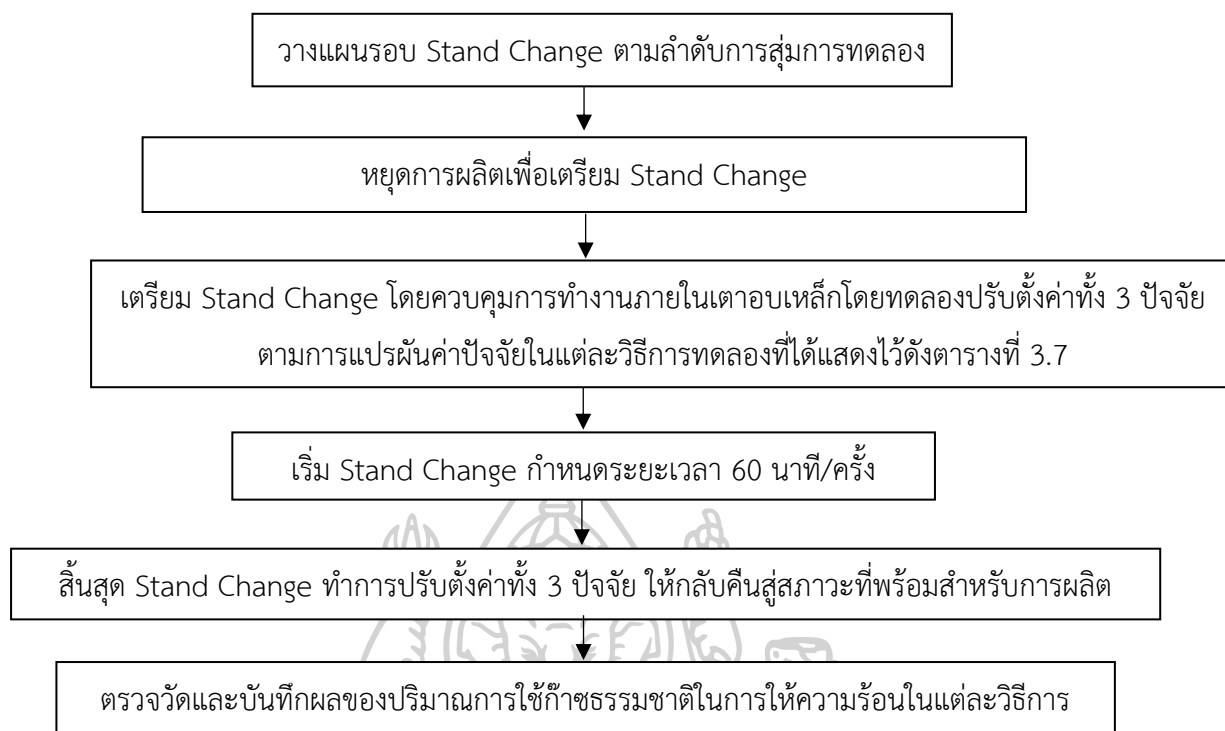
7) เมื่อสิ้นสุดการ Stand Change ทำการปรับตั้งค่าอุณหภูมิภายในเตาอบเหล็ก อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ และความดันในเตาอบเหล็กให้กลับคืนสู่สภาวะที่พร้อมสำหรับการผลิต โดยให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กเพิ่มขึ้นจนให้ได้อุณหภูมิกลับมาที่ $1,250^{\circ}\text{C}$ ตั้งค่าอัตราส่วนอากาศ : ก๊าซที่ 0.95 และตั้งค่าความดันภายในเตาอบเหล็กที่ 2.5 บาร์

8) จดบันทึกค่า Flow gas (Nm^3/m) และปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติภายในเตาอบเหล็ก (Nm^3/h) เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการทดลองในแต่ละแบบการทดลอง

9) เดินเครื่องทดสอบตามแบบวิธีการทดลองที่ละแบบการทดลองโดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3)-8) นี้ จนครบทั้ง 27 สภาวะการทดลอง (แผนผังสรุปขั้นตอนการทดลอง แสดงได้ดังภาพที่ 3.10)



ภาพที่ 3.9 การควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด



ภาพที่ 3.10 แผนผังขั้นตอนการทดลอง

3.5 ทดลองและบันทึกผลการทดลอง

ผู้วิจัยจะดำเนินการทดลองตามวิธีการทดลองที่กำหนดไว้ในข้อ 3.4 โดยระหว่างการทดลองนั้นจะมีการเก็บข้อมูลผลการทดลองเป็นระยะๆ เพื่อรวบรวมและตรวจสอบข้อมูลปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติที่เกิดขึ้นในช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีดทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง และเมื่อครบตามแผนการทดลองแล้วจะนำผลที่ได้มาทำการสรุปผลเพื่อนำไปวิเคราะห์และประเมินผลการทดลองต่อไป

3.6 วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา

3.6.1 วิเคราะห์และประเมินผลการทดลองตามการออกแบบการทดลอง

วิเคราะห์และประเมินผลการศึกษาดทดลองทั้งหมดตามการออกแบบการทดลองที่ได้กำหนดไว้โดยพิจารณาจากค่าปัจจัยตอบสนองที่เป็นข้อมูลปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีดภายหลังการปรับปรุง

3.6.2 วิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Minitab Version 16 โดยทำตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้คือ 1) การตรวจสอบความถูกต้อง

ของแบบทดลอง 2) การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square: R-Sq) และ 3) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.6.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบทดลอง

เป็นการตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการทดลองก่อนนำไปวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจและวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยข้อมูลที่ได้จากการทดลองต้องเป็นไปตามสมมติฐาน 3 ข้อ คือ

- 1) การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล
- 2) การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติ
- 3) การตรวจสอบความเสถียรของการแปรปรวน

ถ้าหากการตรวจสอบเป็นไปตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อ จะถือว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความถูกต้องและเหมาะสมสำหรับการนำไปวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจและวิเคราะห์ความแปรปรวน

3.6.2.2 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ

เป็นการวิเคราะห์ว่าการออกแบบที่ใช้การทดลองมีความเหมาะสมหรือไม่ ซึ่งในการทดลองทุกครั้งจะต้องมีความผันแปรที่อธิบายไม่ได้หรือความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ การออกแบบการทดลองที่ดีจะต้องทำให้เกิดความผันแปรที่อธิบายไม่ได้น้อยที่สุดโดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจเป็นสัดส่วนของส่วนเบี่ยงเบนของ SSR ต่อ SST มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$r^2 = \frac{SSR}{SST} \quad \text{หรือ} \quad r^2 = \frac{b^2 \sum_{i=1}^n x_i^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2} \quad \dots(44)$$

3.6.2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นการตรวจสอบแหล่งผันแปรของแบบทดลอง โดยพิจารณาจาก ค่า P-value ของเทอมต่าง ๆ ในตารางของการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ได้เปรียบเทียบกับค่านัยสำคัญทางสถิติที่กำหนด ซึ่งในการพิจารณาค่า P-value นั้น จะทำการเปรียบเทียบกับค่า α ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ α มีค่าเท่ากับ 0.05 โดยถ้าค่า P-value ที่คำนวณได้ในแต่ละปัจจัยมีค่าน้อยกว่าค่า α แสดงว่าปัจจัยนั้นๆ มีผลต่อตัวแปรตอบสนองแต่ถ้าค่าที่คำนวณได้ในแต่ละปัจจัย มีค่ามากกว่าค่า α แสดงว่าปัจจัยนั้นๆ ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ทั้งนี้การพิจารณาทั้งอิทธิพลหลัก (Main Effect) และปฏิกริยาสัมพันธ์ (Interaction Effect) ว่ามีผลต่อตัวแปรตอบสนองนั้นหรือไม่

3.6.3 ติดตามผลการนำผลการทดลองไปปรับใช้ในกระบวนการผลิต

ผู้วิจัยจะนำค่าปัจจัยที่ได้จากการทดลองและผ่านการทดสอบทางสถิติแล้วมาทำการปรับใช้กับกระบวนการผลิตจริงในโรงงานและติดตามเก็บข้อมูลเพื่อตรวจสอบว่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ก๊าซธรรมชาติภายในเตาอบเหล็กที่ร้อนของกระบวนการเปลี่ยนลูกรีดนั้นสามารถลดลงได้ตาม สมมติฐานที่ได้ตั้งไว้หรือไม่ โดยจะทำการติดตามผลและเก็บข้อมูลในช่วงเดือนมกราคม-พฤษภาคม 2562 ซึ่งผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด ก่อนและหลังการปรับปรุง

3.6.4 สรุปผลการศึกษา

ผู้วิจัยทำการสรุปผลการศึกษาโดยหัวข้อที่สรุปจะสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ที่ได้กำหนดไว้ พร้อมทั้งเสนอแนะเพิ่มเติมจากการทำการวิจัย



บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

ในบทนี้กล่าวถึงผลการทดลองต่างๆ ที่ได้จากการดำเนินการตามแผนการทดลองที่กล่าว
ในบทที่ 3 ซึ่งผลการทดลองต่างๆ สามารถแยกได้ เป็นดังนี้

1. ผลการทดลองแบบ 3-Level Full factorial design (3^k)
2. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab
3. การติดตามผลการนำผลการทดลองไปปรับใช้ในกระบวนการผลิต

4.1 ผลการทดลองแบบ 3-Level Full Factorial Design (3^k)

เป็นการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติภายในเตาอบ
เหล็กช่วงที่มีกระบวนการเปลี่ยนลูกรีด โดยใช้สถิติในการวิเคราะห์ผลการทดลอง และใช้หลักการ
วิเคราะห์ข้อมูลแบบแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Randomization) ซึ่งสามารถออกแบบ
การทดลองได้ดังนี้ ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ในกระบวนการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงที่
มีกระบวนการเปลี่ยนลูกรีด ซึ่งทำการเปลี่ยนลูกรีดตามแผนที่โรงงานใช้อยู่ คือ อุณหภูมิภายในเตาอบ
เหล็ก โดยมีระดับปัจจัย (Factor Level) 3 ระดับ (900°C , $1,000^{\circ}\text{C}$ และ $1,100^{\circ}\text{C}$) อัตราส่วน
อากาศ:ก๊าซ ภายในเตาอบเหล็ก มีระดับปัจจัย 3 ระดับ (0.95, 1 และ 1.05) และความดันภายในเตา
อบเหล็ก มีระดับปัจจัย 3 ระดับ (2.3 บาร์, 2.5 บาร์ และ 2.7 บาร์) โดยทำการทดลองซ้ำภายใต้
เงื่อนไขเดียวกัน (Replication) 3 ซ้ำ ซึ่งมีตัวแปรตอบสนองคือ ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติภายใน
เตาอบเหล็กช่วงที่มีกระบวนการเปลี่ยนลูกรีด โดยได้สภาวะการทดลองทั้งสิ้นจำนวน
27 สภาวะ รวมทั้งหมด 81 การทดลอง ซึ่งจากการศึกษาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อปริมาณการใช้
เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด
นั้น ได้ผลการทดลองแบบ 3-Level Full factorial design (3^k) ที่กำหนดลำดับสภาวะ โดยวิธีการสุ่ม
แบบปกติเพื่อลดความแปรปรวนแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองแบบ 3-Level Full Factorial Design (3^k)

| วิธีการทดลอง ตามลำดับ การสุ่ม | ปัจจัยในการทดลอง | | | ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ (Nm ³) | | | |
|-------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|---|---|---------------------|---------------------|-----------|
| | อุณหภูมิ (Temp) (°C) | อัตราส่วนอากาศ: ก๊าซ (Ratio) | ความดันในเตาอบ เหล็ก (Pressure) (Bar) | ทดลอง ครั้งที่ 1 | ทดลอง ครั้งที่ 2 | ทดลอง ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย |
| 7 | 900 | 1.05 | 2.3 | 1,517 | 1,515 | 1,520 | 1,517 |
| 23 | 1,100 | 1.00 | 2.5 | 1,366 | 1,370 | 1,360 | 1,365 |
| 18 | 1,000 | 1.05 | 2.7 | 1,190 | 1,210 | 1,215 | 1,205 |
| 2 | 900 | 0.95 | 2.5 | 1,486 | 1,502 | 1,483 | 1,490 |
| 11 | 1,000 | 0.95 | 2.5 | 1,320 | 1,327 | 1,322 | 1,323 |
| 17 | 1,000 | 1.05 | 2.5 | 1,230 | 1,230 | 1,244 | 1,235 |
| 8 | 900 | 1.05 | 2.5 | 1,504 | 1,495 | 1,508 | 1,502 |
| 1 | 900 | 0.95 | 2.3 | 1,560 | 1,530 | 1,510 | 1,533 |
| 27 | 1,100 | 1.05 | 2.7 | 1,300 | 1,305 | 1,313 | 1,306 |
| 25 | 1,100 | 1.05 | 2.3 | 1,367 | 1,365 | 1,395 | 1,376 |
| 16 | 1,000 | 1.05 | 2.3 | 1,270 | 1,264 | 1,258 | 1,264 |
| 4 | 900 | 1.00 | 2.3 | 1,530 | 1,522 | 1,528 | 1,527 |
| 14 | 1,000 | 1.00 | 2.5 | 1,290 | 1,287 | 1,280 | 1,286 |
| 22 | 1,100 | 1.00 | 2.3 | 1,397 | 1,395 | 1,377 | 1,390 |
| 6 | 900 | 1.00 | 2.7 | 1,490 | 1,502 | 1,490 | 1,494 |
| 24 | 1,100 | 1.00 | 2.7 | 1,303 | 1,302 | 1,311 | 1,305 |
| 19 | 1,100 | 0.95 | 2.3 | 1,450 | 1,450 | 1,430 | 1,443 |
| 15 | 1,000 | 1.00 | 2.7 | 1,295 | 1,277 | 1,280 | 1,284 |
| 21 | 1,100 | 0.95 | 2.7 | 1,412 | 1,423 | 1,418 | 1,418 |
| 10 | 1,000 | 0.95 | 2.3 | 1,330 | 1,338 | 1,343 | 1,337 |
| 26 | 1,100 | 1.05 | 2.5 | 1,369 | 1,399 | 1,388 | 1,385 |
| 20 | 1,100 | 0.95 | 2.5 | 1,423 | 1,423 | 1,429 | 1,425 |
| 9 | 900 | 1.05 | 2.7 | 1,494 | 1,480 | 1,478 | 1,484 |
| 13 | 1,000 | 1.00 | 2.3 | 1,310 | 1,314 | 1,320 | 1,315 |

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองแบบ 3-Level Full Factorial Design (3^k) (ต่อ)

| วิธีการทดลอง ตามลำดับ การสุ่ม | ปัจจัยในการทดลอง | | | ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ (Nm^3) | | | |
|-------------------------------------|--|---------------------------------|---|--|---------------------|---------------------|-----------|
| | อุณหภูมิ (Temp) ($^{\circ}\text{C}$) | อัตราส่วนอากาศ: ก๊าซ (Ratio) | ความดันในเตาอบ เหล็ก (Pressure) (Bar) | ทดลอง ครั้งที่ 1 | ทดลอง ครั้งที่ 2 | ทดลอง ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย |
| 12 | 1,000 | 0.95 | 2.7 | 1,307 | 1,310 | 1,290 | 1,302 |
| 5 | 900 | 1.00 | 2.5 | 1,514 | 1,520 | 1,510 | 1,515 |
| 3 | 900 | 0.95 | 2.7 | 1,500 | 1,512 | 1,520 | 1,511 |

จากตารางการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงที่มีกระบวนการเปลี่ยนลูกรีดตามแผนการทดลองแบบ 3-Level Full Factorial Design (3^k) พบว่าการกำหนดปัจจัยของอุณหภูมิภายในเตาอบเหล็ก เท่ากับ $1,000^{\circ}\text{C}$, อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ ภายในเตาอบเหล็ก เท่ากับ 1.05 และความดันภายในเตาอบเหล็ก เท่ากับ 2.7 บาร์ ได้ค่าของปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติน้อยที่สุดอยู่ที่ปริมาณ $1,205 \text{ Nm}^3$ ในการทดลองที่ 18 และการกำหนดปัจจัยของอุณหภูมิภายในเตาอบเหล็ก เท่ากับ 900°C , อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ ภายในเตาอบเหล็ก เท่ากับ 0.95 และความดันภายในเตาอบเหล็ก เท่ากับ 2.3 บาร์ ได้ค่าของปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติสูงที่สุดอยู่ที่ปริมาณ $1,533 \text{ Nm}^3$ ในการทดลองที่ 1 ดังนั้นจากผลการทดลองวิเคราะห์หาระดับปัจจัยในการปรับเปลี่ยนวิธีการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กเพื่อลดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด จึงพบระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ช่วยลดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติได้น้อยที่สุด ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลของระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง

| ปัจจัย | ก่อนปรับปรุง | หลังปรับปรุง |
|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| อุณหภูมิภายในเตาอบเหล็ก | $1,150^{\circ}\text{C}$ | $1,000^{\circ}\text{C}$ |
| อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซภายในเตาอบเหล็ก | 0.95 | 1.05 |
| ความดันภายในเตาอบเหล็ก | 2.5 บาร์ | 2.7 บาร์ |

จากนั้นผู้วิจัยจึงได้นำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Minitab ในขั้นตอนต่อไป

4.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab

4.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบทดลอง

การวิเคราะห์เริ่มจากการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล เมื่อดำเนินการทดลองตามที่ได้ ออกแบบไว้ โดยนำข้อมูลผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ตรวจสอบว่าข้อมูลที่ได้มานั้นเป็นข้อมูล ที่มีคุณภาพหรือไม่ ซึ่งมีความจำเป็นต้องพิสูจน์ถึงคุณสมบัติ (Model Adequacy Checking) ของ ข้อมูล 3 ประการด้วยกันคือ การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Test), การทดสอบ ความอิสระของข้อมูล (Independence Test) และการทดสอบความมีเสถียรภาพของข้อมูล (Variance Stability Test) ซึ่งการวิเคราะห์ผลการทดลองผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Minitab Release 16 ซึ่งมีผลการวิเคราะห์การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล ดังนี้

4.2.1.1 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Test)

1) กราฟ Normal Probability Plot

จากการวิเคราะห์กราฟ Normal Probability Plot ดังรูปที่ 4.1 พบว่า ค่าความผิดพลาด (Residuals) ของข้อมูลมีลักษณะการกระจายตามแนวเส้นตรง อยู่ใกล้เคียงกับเส้น ปกติและการเกิดจุดไม่กระจุกเป็นกลุ่มๆ แสดงว่าข้อมูลมีความเหมาะสมเนื่องจากการแจกแจงเป็น แบบปกติ

2) กราฟ Probability Plot

จากการวิเคราะห์กราฟ Probability Plot ดังรูปที่ 4.2 พบว่าโปรแกรม Minitab จะให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.077 ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นการสรุปผลการทดสอบสมมติฐานที่ว่า

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

H_1 : ข้อมูลมีการแจกแจงไม่เป็นปกติ

โดยกำหนดยอมรับค่าความผิดพลาดที่ 5 % ($\alpha=0.05$) เมื่อ P-Value > α จึงยอมรับสมมติฐาน H_0 แต่หากเมื่อ P-Value < α จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0

ดังนั้นเมื่อได้ค่า P-Value > α จึงสามารถแสดงได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจง เป็นแบบปกติ

3) กราฟ Histogram

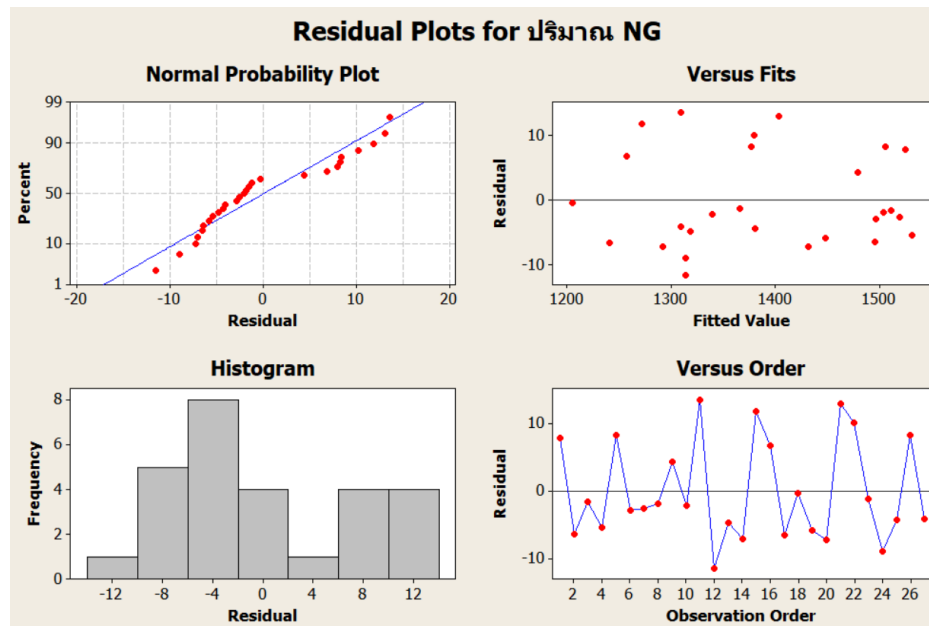
จากการวิเคราะห์กราฟ Histogram ดังรูปที่ 4.1 พบว่ากราฟมีลักษณะของ ระฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ

4.2.1.2 การทดสอบความอิสระของข้อมูล (Independence Test)

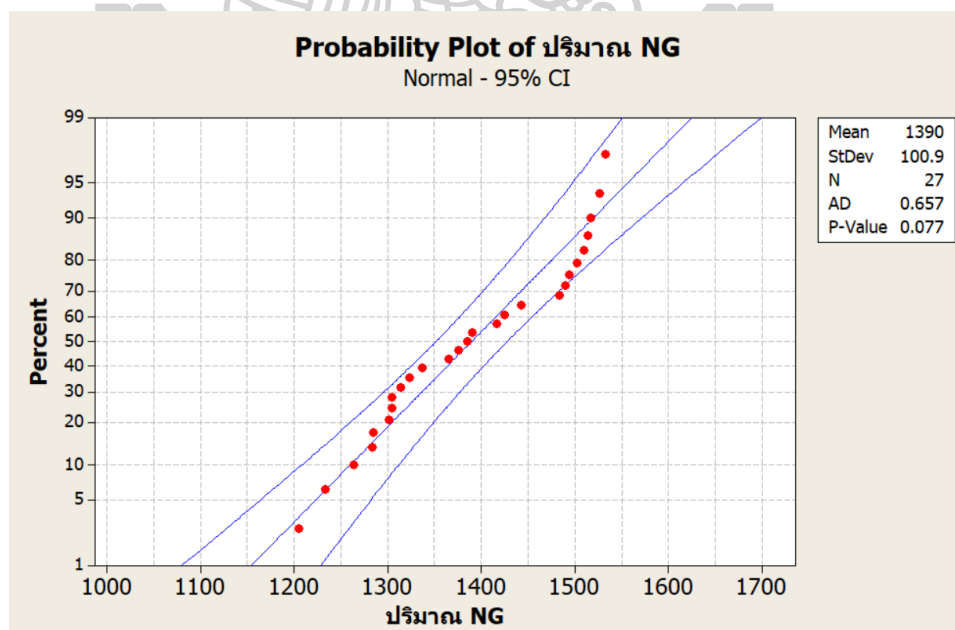
เมื่อพิจารณาจากกราฟ Versus Fitted Value ดังรูปที่ 4.1 พบว่ามีลักษณะ ของการกระจายตัวของจุดที่แทนข้อมูล ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าค่าความผิดพลาด (Residuals) มีความเป็นอิสระต่อกัน นั้นหมายถึงข้อมูลเก็บมาอย่างสุ่ม

4.2.1.3 การทดสอบความมีเสถียรภาพของข้อมูล (Variance Stability Test)

เมื่อพิจารณาจากกราฟ Versus Order ดังรูปที่ 4.1 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลมีการกระจายตัวสม่ำเสมอทั้งทางบวกและลบ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน



ภาพที่ 4.1 Residual Plots ของค่าผลตอบสนอง (ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ)



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงข้อมูลเป็น Normal distribution โดยโปรแกรม Minitab Release 16

ผลการวิเคราะห์การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล แสดงให้เห็นว่าเป็นไปตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อ จึงถือได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความถูกต้องและเหมาะสมสำหรับการนำไปวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจและวิเคราะห์ความแปรปรวน

4.2.2 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ

การวิเคราะห์ผลการทดลองของการทดสอบปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการทดลองวัดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติตามที่ได้ออกแบบไว้ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ได้ผลว่า R^2 มีค่าเท่ากับ 99.47% ซึ่งหมายความว่าถ้าหากความแปรปรวนในข้อมูลมี 100% แล้ว ความแปรปรวนที่ 99.47% สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอย ส่วนปริมาณที่เหลือไม่สามารถอธิบายได้เนื่องจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นจึงแสดงได้ว่าข้อมูลมีสารสนเทศต่อการวิเคราะห์ และพิจารณาค่า R^2 ที่ได้รับการปรับค่า (Adjusted R^2 มีค่าเท่ากับ 98.27%) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า R^2 แสดงว่าจำนวนข้อมูลนั้นมีเพียงพอที่จะนำมาวิเคราะห์ผลการทดลอง

| General Linear Model: ปริมาณ NG versus Temp, Ratio, Pressure | | | | | | | |
|--|-------|--------|------------------|--|--|--|--|
| Factor | Type | Levels | Values | | | | |
| Temp | fixed | 3 | 900, 1000, 1100 | | | | |
| Ratio | fixed | 3 | 0.95, 1.00, 1.05 | | | | |
| Pressure | fixed | 3 | 2.3, 2.5, 2.7 | | | | |

| Analysis of Variance for ปริมาณ NG, using Adjusted SS for Tests | | | | | | | |
|---|----|--------|--------|--------|--------|-------|--|
| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P | |
| Temp | 2 | 228761 | 228761 | 114380 | 649.34 | 0.000 | |
| Ratio | 2 | 14515 | 14515 | 7257 | 41.20 | 0.000 | |
| Pressure | 2 | 8654 | 8654 | 4327 | 24.56 | 0.000 | |
| Temp*Ratio | 4 | 8397 | 8397 | 2099 | 11.92 | 0.002 | |
| Temp*Pressure | 4 | 1619 | 1619 | 405 | 2.30 | 0.147 | |
| Ratio*Pressure | 4 | 1266 | 1266 | 317 | 1.80 | 0.223 | |
| Error | 8 | 1409 | 1409 | 176 | | | |
| Total | 26 | 264621 | | | | | |

S = 13.2721 R-Sq = 99.47% R-Sq(adj) = 98.27%

ภาพที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบแฟกทอเรียล

4.2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติภายในเตาอบเหล็กช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด โดยใช้โปรแกรม Minitab (รูปที่ 4.3) เริ่มต้นจากการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ก่อนแล้วทำการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของอิทธิพลหลัก (Main Effect) ต่อ ซึ่งพิจารณาจากค่า P-Value พบว่าอิทธิพลร่วม

ได้แก่ อุณหภูมิและความดัน, อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซและความดัน มีผลกระทบต่อค่าปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติอย่างไม่มีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (P-value > 0.05) ส่วนอิทธิพลหลัก ได้แก่ อุณหภูมิ, อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ และความดัน รวมทั้งอิทธิพลร่วม นั่นก็คือ อุณหภูมิและอัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ มีผลกระทบต่อค่าปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (P-value < 0.05)

4.2.3.1 การวิเคราะห์ปัจจัยหลัก (Main Effects)

จากรูปที่ 4.4 เมื่อพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติมีดังนี้

1) อุณหภูมิภายในเตาอบเหล็ก

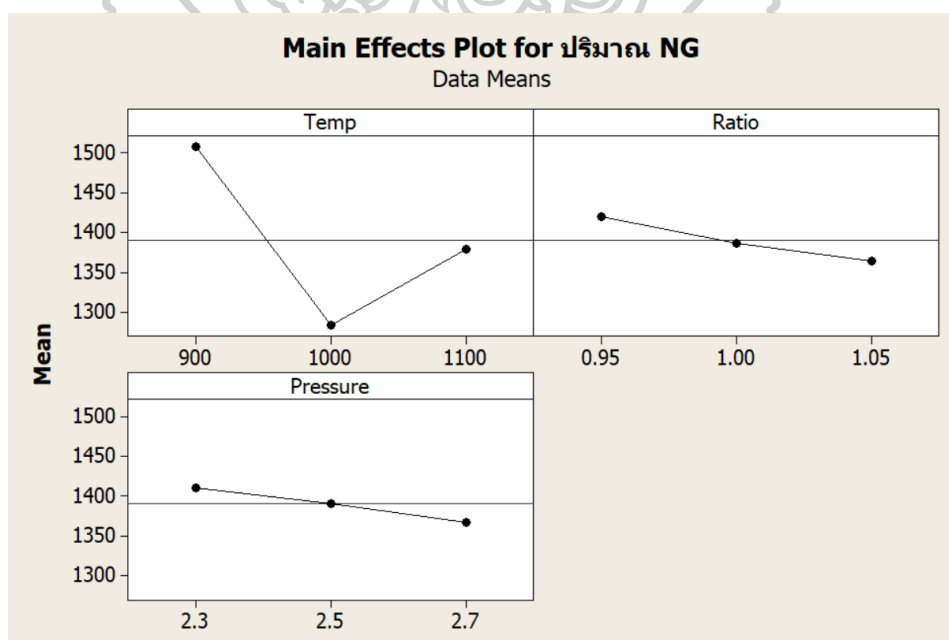
พบว่าเส้นกราฟมีลักษณะชันลงมากเมื่อเพิ่มปริมาณอุณหภูมิจาก 900°C เป็น 1,000°C ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยอุณหภูมิ 1,000°C นั้น ส่งผลกระทบบต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติที่ลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ

2) อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ ภายในเตาอบเหล็ก

พบว่าเส้นกราฟมีลักษณะชันลงซึ่งหมายความว่า ปัจจัยอัตราส่วนอากาศ:ก๊าซที่ 1.05 นั้น ส่งผลกระทบบต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติที่ลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ

3) ความดันภายในเตาอบเหล็ก

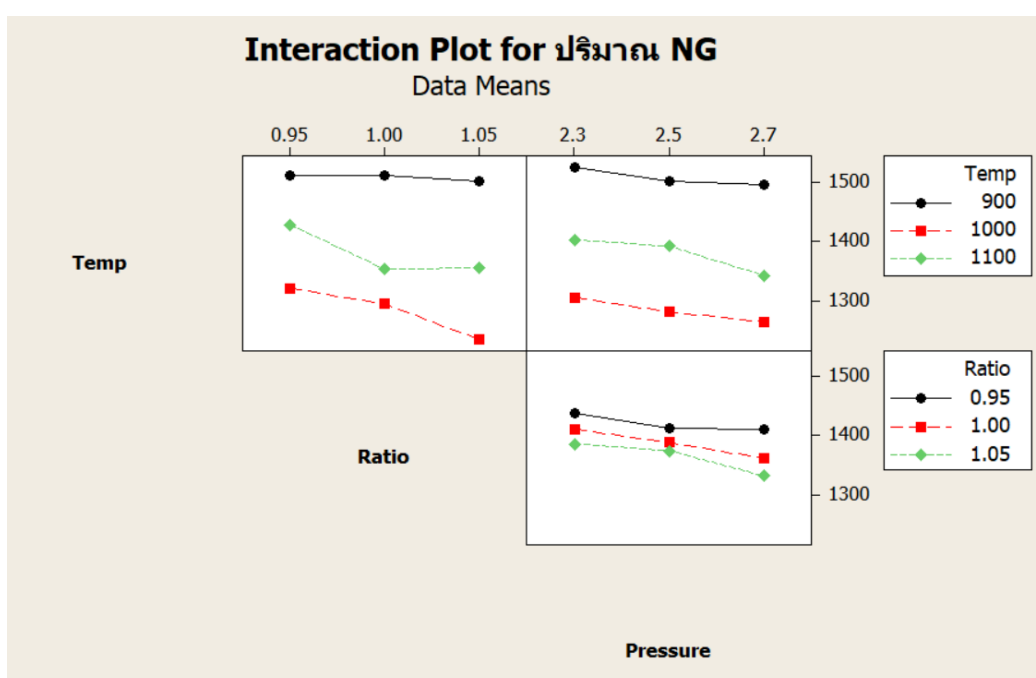
พบว่าเส้นกราฟมีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรง ซึ่งหมายความว่าไม่ว่าจะปรับตั้งค่าความดันสูง หรือ ต่ำ ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นความดันจึงไม่มีผลต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติที่ลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 4.4 การวิเคราะห์ Main Effects Plot ที่ส่งผลต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ

4.2.3.2 การวิเคราะห์อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย (Interaction Effect)

จากรูปที่ 4.5 โดยพิจารณากราฟอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยอุณหภูมิ และอัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ มีผลต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญอย่างชัดเจน เนื่องจากการปรับตั้งค่าอุณหภูมิ และอัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติที่วัดได้อยู่ในระดับต่ำ แต่เมื่อมีการปรับตั้งค่าอุณหภูมิ และอัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ ต่ำจะส่งผลให้ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีดอยู่ในระดับสูง



ภาพที่ 4.5 การวิเคราะห์ Interaction Plot อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ

4.2.4 การติดตามผลการนำผลการทดลองไปปรับใช้ในกระบวนการผลิต

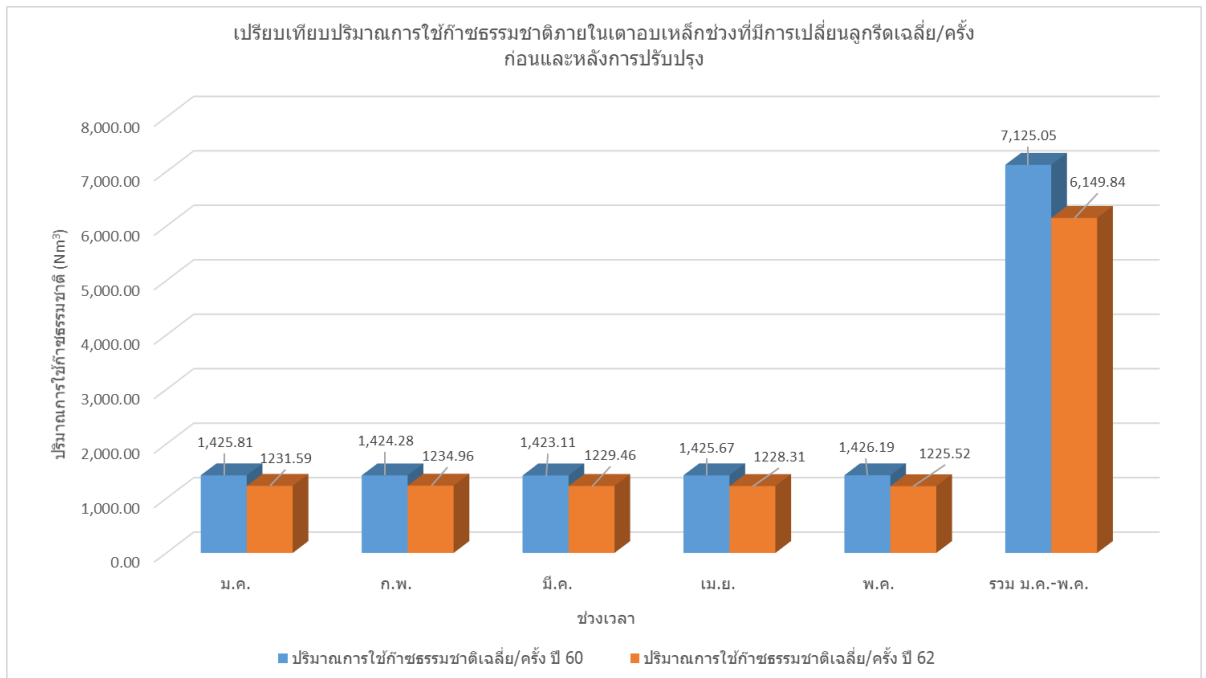
เพื่อยืนยันผลการทดลองว่าปัจจัยทั้ง 3 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงที่มีกระบวนการเปลี่ยนลูกรีดนั้นจะเป็นสภาวะวะการทำงานที่เหมาะสมและสามารถลดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้มีการนำข้อมูลปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กช่วงที่มีกระบวนการเปลี่ยนลูกรีดก่อนการทดลองมาเปรียบเทียบกับข้อมูลหลังการทดลองซึ่งเป็นข้อมูลที่ไ้จากการนำผลการทดลองที่ดีที่สุดไปใช้ในการปรับตั้งค่าใหม่ในกระบวนการผลิต

ช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีดจริง โดยได้ทำการติดตามผลและเก็บข้อมูลในช่วงเดือนมกราคม-พฤษภาคม 62 ผลการเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 4.3

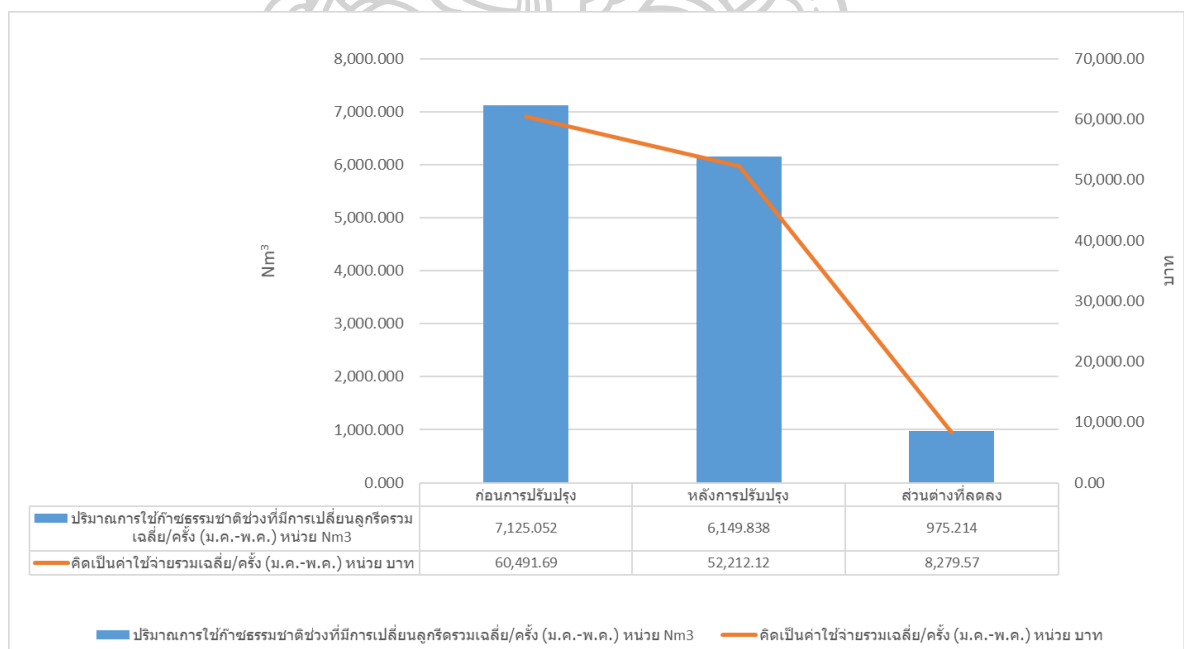
ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการปรับเปลี่ยนปัจจัยและระดับของปัจจัย

| | ข้อมูลก่อนการทดลองในกระบวนการผลิตจริง (ปี 60) | | | ข้อมูลหลังการทดลองในกระบวนการผลิตจริง (ปี 62) | | |
|--------------------------|---|--|---|---|--|---|
| ช่วงเวลาการเปลี่ยนลูกรีด | ปัจจัยที่ตั้งค่าภายในเตาอบเหล็กเดิม (อุณหภูมิ 1,150°C, อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ 0.95 และความดัน 2.5 บาร์) | | | ปัจจัยที่ตั้งค่าภายในเตาอบเหล็กใหม่ (อุณหภูมิ 1,000°C, อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ 1.05 และความดัน 2.7 บาร์) | | |
| | จำนวนครั้งของการเปลี่ยนลูกรีด | ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติทั้งหมด (Nm ³) | ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติเฉลี่ย/ครั้ง (Nm ³) | จำนวนครั้งของการเปลี่ยนลูกรีด | ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติทั้งหมด (Nm ³) | ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติเฉลี่ย/ครั้ง (Nm ³) |
| มกราคม | 21 | 29,942 | 1,425.81 | 22 | 27,095 | 1,231.591 |
| กุมภาพันธ์ | 25 | 35,607 | 1,424.28 | 24 | 29,639 | 1,234.958 |
| มีนาคม | 27 | 38,424 | 1,423.111 | 26 | 31,966 | 1,229.462 |
| เมษายน | 27 | 38,493 | 1,425.667 | 26 | 31,936 | 1,228.308 |
| พฤษภาคม | 27 | 38,507 | 1,426.185 | 25 | 30,638 | 1,225.52 |
| รวม | 127 | 180,973 | 7,125.052 | 123 | 151,274 | 6,149.838 |

จากข้อมูลในตารางที่ 4.3 ก่อนการปรับปรุงในสถานะของปัจจัยที่ตั้งค่าภายในเตาอบเหล็กเดิม ได้แก่ อุณหภูมิ 1,150°C, อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ 0.95 และความดัน 2.5 บาร์ พบว่ามีปริมาณของการใช้ก๊าซธรรมชาติภายในเตาอบเหล็กช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีดเฉลี่ยรวม/ครั้งในช่วงเดือน มกราคม-พฤษภาคม 2560 เท่ากับ 7,125.052 Nm³ และภายหลังการปรับปรุงในสถานะของปัจจัยที่ตั้งค่าภายในเตาอบเหล็กใหม่ ได้แก่ อุณหภูมิ 1,000°C, อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ 1.05 และความดัน 2.7 บาร์ พบว่าปริมาณของการใช้ก๊าซธรรมชาติภายในเตาอบเหล็กช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีดเฉลี่ยรวม/ครั้งในช่วงเดือน มกราคม-พฤษภาคม 2562 เท่ากับ 6,149.838 Nm³ ซึ่งจากการนำข้อมูลข้างต้นมาเปรียบเทียบกับสถานะการทำงานใหม่ (หลังการทดลอง) ผลที่ได้พบว่าปริมาณของการใช้ก๊าซธรรมชาติภายในเตาอบเหล็กช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีดเฉลี่ยรวม/ครั้งลดลงจากช่วงเดือนเดียวกันของปี 2560 อยู่ที่ 975.214 Nm³ และคิดเป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ลดลงเท่ากับ 8,279.57 บาท (แสดงการเปรียบเทียบดังรูปที่ 4.6 และ 4.7)



ภาพที่ 4.6 ผลเปรียบเทียบปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติภายในเตาอบเหล็กช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีดเฉลี่ย/ครั้ง ก่อนและหลังการปรับปรุง



ภาพที่ 4.7 ผลเปรียบเทียบปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติและค่าใช้จ่ายในกระบวนการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีดระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือ การวิเคราะห์หาปัจจัยและระดับปัจจัยในการปรับเปลี่ยนวิธีการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็กที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ ในกระบวนการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีดเพื่อที่จะช่วยลดต้นทุนที่สูญเสียของปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการดังกล่าวของโรงงานที่เป็นกรณีศึกษา โดยการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล เพื่อให้งานวิจัยสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้ ผลที่ได้จากการทดลองได้นำมาทำการวิเคราะห์ในเชิงสถิติและนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตจริง

5.1.1 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ ในกระบวนการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด

การหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด ได้มีการวิเคราะห์ในรูปแบบของแผนภูมิแกงปลา พบว่ามีปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ 3 ปัจจัย ที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ ประกอบด้วย อุณหภูมิภายในเตาอบเหล็ก, อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซภายในเตาอบเหล็ก และความดันภายในเตาอบเหล็ก ปัจจัยตอบสนอง คือปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ ซึ่งปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยดังกล่าวจะถูกดำเนินการนำไปทดลองโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล แบบ 3-Level Full Factorial Design (3^k) โดยกำหนดระดับปัจจัยเป็น 3 ระดับ ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์เพื่อหาระดับของปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดค่าปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติที่ลดลงได้มากที่สุด ผลการทดลองพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ประกอบด้วย อุณหภูมิ และอัตราส่วนอากาศ:ก๊าซ ภายในเตาอบเหล็ก ทั้งนี้จากผลการทดลองวิเคราะห์หาระดับปัจจัยในการปรับเปลี่ยนวิธีการควบคุมการทำงานของเตาอบเหล็ก เพื่อช่วยลดปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีดให้เหลือน้อยที่สุด พบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด คือการตั้งค่าที่อุณหภูมิภายในเตาอบเหล็ก เท่ากับ $1,000^{\circ}\text{C}$, อัตราส่วนอากาศ:ก๊าซภายในเตาอบเหล็ก เท่ากับ 1.05 และความดันภายในเตาอบเหล็ก เท่ากับ 2.7 บาร์

5.1.2 การติดตามผลการนำผลการทดลองไปปรับใช้ในกระบวนการผลิต

เมื่อได้นำผลการทดลองไปปรับใช้ในกระบวนการผลิตจริงเพื่อยืนยันผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาทดลอง พบว่าปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติภายในเตาอบเหล็กช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกรีด

ในช่วงเดือน มกราคม-พฤษภาคม รวมเฉลี่ย/ครั้งลดลงจากเดิมในปี 2560 ที่มีปริมาณการใช้ ก๊าซธรรมชาติเท่ากับ 7,125.052 Nm³ โดยในปี 2562 ของช่วงเวลาเดียวกันพบว่ามีปริมาณ ก๊าซธรรมชาติเท่ากับ 6,149.838 Nm³

ดังนั้นจึงสามารถสรุปผลการวิจัยในครั้งนี้ได้ว่า ก่อนการทดลองมีต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เกิด จากการใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการให้ความร้อนกับเตาอบเหล็กในช่วงที่มีการเปลี่ยนลูกกรีด รวมเฉลี่ยต่อครั้งในช่วงเวลาเดียวกัน (เดือนมกราคม-พฤษภาคม) คิดเป็นเงิน 60,491.69 บาท หรือ เท่ากับ 12,098.34 บาท/ครั้ง หลังการทดลองพบว่ามีต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เกิดจากปริมาณการใช้ ก๊าซธรรมชาติรวมเฉลี่ยต่อครั้งคิดเป็นเงิน 52,212.12 บาท หรือเท่ากับ 10,442.42 บาท/ครั้ง ลดลง จากเดิม 8,279.57 บาท หรือเท่ากับ 1,655.92 บาท/ครั้ง ซึ่งเมื่อคิดเป็นอัตราต้นทุนค่าใช้จ่ายของ ก๊าซธรรมชาติที่ต้องสูญเสียไปสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายลงได้เท่ากับร้อยละ 13.68 ซึ่งเป็นไปตาม วัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ได้กำหนดไว้ เนื่องจากสามารถช่วยลดต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ต้องสูญเสียไป ของปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในกระบวนการดังกล่าวของโรงงานที่เป็นกรณีศึกษาลงได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะที่ได้จากงานวิจัยในครั้งนี้ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นดังต่อไปนี้

5.2.1 ควรศึกษาการทดลองโดยแปรผันค่าของปัจจัยให้มีความละเอียดมากขึ้นเพื่อศึกษา ประสิทธิภาพต่อไป

5.2.2 ควรศึกษาถึงปัจจัยผลกระทบอื่นที่มีผลต่อปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติเพิ่มเติม ได้แก่

5.2.2.1 การศึกษาปัจจัยผลกระทบจากจำนวนหัว Burner หรือการควบคุมการ

ปิด-เปิดการทำงานของหัว Burner ที่อาจมีผลต่อการควบคุมปริมาณการใช้ ก๊าซธรรมชาติ

5.2.2.2 การศึกษาปัจจัยผลกระทบจากอัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่อาจมีผลต่อ การควบคุมปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ

รายการอ้างอิง

- Andreas Steinböck, & Andreas Kugi. (2013). Optimized pacing of continuous reheating furnaces. *European Control Conference*. doi:10.23919/ecc.2013.6669132
- Bhaskar Bhattacharya, & Desale Habtzghi. (2002). Median of the p value under the alternative hypothesis. *American Statistical Association*, 56(3), 202-206. doi:10.1198/000313002146
- Crosby, P. B. (1979). *Quality is Free, The Art of Making Quality Certain*. New York: New American Library.
- Filipe A. T. Silveira, & Guilherme V. Raffo. (2017). *Optimal control of fuel gases on continuous annealing furnaces of steel coil strip*: Congresso Brasileiro de Automatica.
- Geocities. (2009). ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง. Retrieved from http://www.geocities.ws/chalong_sri/why_DOE.htm
- Jiin-Yuh Jang, & Jun-Bo Huang. (2015). Optimization of a slab heating pattern for minimum energy consumption in a walking-beam type reheating furnace. *Applied Thermal Engineering*, 85, 313-321.
- Juran, J. M. e. (1964). *Managerial Breakthrough*.
- Kerlinger, F. N. (1986). *Foundations of Behavioral Research*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Magnus Evestedt, & Per-Olof Norberg. (2010). Precise temperatur control in high quality steel reheating and annealing furnaces. *IFAC Proceedings Volumes*, 43(9), 44-49. doi:10.3182/20100802-3-ZA-2014.00010
- Montgomery, D. C. (2001). *Design and Analysis of Experiments* (5 ed.). New York: John Wiley & Sons Ltd.,.
- Ronald L. Wasserstein, & Nicole A. Lazar. (2016). The ASA's Statement on p-Values: Context, Process, and Purpose. *The American Statistician*, 70(2), 129-133. doi:10.1080/00031305.2016.1154108
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทน. (2561). การให้ความร้อนโดยเตาเชื้อเพลิง (Fuel-fired Heating). Retrieved from http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/

- websemple/Industrial(PDF)/Bay%202%20Fuel-fired%20Heating.pdf
 กลุ่มวิจัยเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. (2562). เตาเผา
 อุตสาหกรรม. Retrieved from http://www.enconlab.com/ve/Download/7_title/Furnace.pdf
- ณัฐชนันท์ ปลายเนตร, & ศุภชัย ปลายเนตร. (2556). การศึกษาการพัฒนาเตาอบชุบโลหะโดยใช้ระบบ
 ควบคุมอุณหภูมิแบบพีไอดีสำหรับอุตสาหกรรมผลิตมีดพร้าชุมชน. วารสารการพัฒนาชุมชน
 และคุณภาพชีวิต, 1(1), 107-113.
- นงลักษณ์ วิรัชชัย. (2543). พรหมแดนความรู้ด้านการวิจัยและสถิติ: บริษัท เอ็มเอ็นคอมพิวออฟเซ็ท
 จำกัด.
- บุญชัย แซ่สัว, & ณัฐธยาน์ โสกุล. (2559). การลดของเสียในขั้นตอนกระบวนการบรรจุ โดยการ
 ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: บริษัทผลิตขนมขบเคี้ยว. (วิศวกรรมศาสตร
 มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์). มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต,
 ปริญญา ตรีคุณวุฒิ. (2553). การศึกษาการควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการอุ่นเตาสำหรับเตาอบ
 เหล็กชนิด *Walking Hearth* ของบริษัท ราชสีมาผลิตเหล็ก จำกัด (วิศวกรรมศาสตร
 มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี,
 ปริญญา ตรีคุณวุฒิ. (2554). การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงบิดของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์พชนิดไฟ
 วอท. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม).
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์,
- ผศ.ดร.พนม เพชรจตุพร. (2561). ผังฮิสโตแกรม (Histogram Chart). Retrieved from
<http://msit.mut.ac.th/index.php/blog/histogram-chart-3>
- พนพ เกษามา. (2561). การบริหารเพื่อความเป็นเลิศ/อยู่รอด/ยั่งยืน (ตอนที่ 6) การวิเคราะห์หาสาเหตุ
 รากเหง้า (Root Cause) ด้วยผังก้างปลา (Fish Bone Diagram). Retrieved from
https://www.tqmbest.com/knowledge_base/5article/0TQM_Foundation/2QC_Story_Kaizen_5-S/MBP_V.9-4.pdf
- มนต์ชัย เทียนทอง. (2548). สถิติและวิธีการวิจัยทางเทคโนโลยีสารสนเทศ. กรุงเทพฯ: สถาบัน
 เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- มัชชุลิกา คอนเมฆ, สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ, & ณัฐเดช เพ็ญจรวงศ์. (2555). การศึกษาความคุ้มค่าทาง
 เศรษฐศาสตร์สำหรับการใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูงในเตาเผาเหล็กของอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก
 และเหล็กกล้าในประเทศ. (วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
- ยุทธ ไภยวรรณ. (2546). สถิติเพื่อการวิจัย. กรุงเทพฯ: ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ.

- รองศาสตราจารย์สายชล สิ้นสมบูรณ์ทอง. (2558a). การวางแผนแบบการทดลอง เล่ม 1. กรุงเทพฯ: จามจุรีโปรดักท์.
- รองศาสตราจารย์สายชล สิ้นสมบูรณ์ทอง. (2558b). การวางแผนแบบการทดลอง เล่ม 2. กรุงเทพฯ: จามจุรีโปรดักท์.
- วิทยา สุขะลี. (2559). การลดของเสียในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนหน้าจอโทรศัพท์มือถือโดยเทคนิคการออกแบบการทดลอง. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีธัญบุรี,
- วิทยาลัยอาชีวศึกษาสุโขทัย. (2562). การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing). Retrieved from <http://www.stvc.ac.th/elearning/stat/csu8.html>
- วิบูลย์ พงศพรทรัพย์. (2555). ทำไมต้องใช้พาเรโตตอนที่ 1 *Production for Quality*.
- สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ. (2561). การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE). Retrieved from <http://piu.ftpi.or.th/productivity-tools/doe/>
- สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. (2561). การอนุรักษ์พลังงานในระบบเตาเผา โครงการจัดตั้งศูนย์การเผยแพร่แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในภาคอุตสาหกรรม. Retrieved from www.energypoints.info%2Fdownload%2F98&usg=AOwVaw15TPKX9hd-xHfLp5X4iQEu
- สมศักดิ์ แก้วพลอย, & กุลยัท บุญเซ่ง. (2557). การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการอบไม้ยางพารา. (วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต). มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา,
- สมหวัง พิธิยานุวัฒน์. (2533). การกำหนดตัวแปรในการวิจัย. วารสารวิธีวิทยาการวิจัย คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 54-65.
- สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง กระทรวงการคลัง. (2548). การควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ. Retrieved from <http://www2.fpo.go.th/S-I/Source/ECO/ECO26.htm>
- สุชาติ ประสิทธิ์รัฐสินธุ์. (2546). ระเบียบวิธีการวิจัยทางสังคมศาสตร์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ เฟื่องฟ้าพรีนติ้ง จำกัด.
- สุวรรณณี แสงมหาชัย. (2539). TQM กับการปรับปรุงบริการภาครัฐ เอกสารวิชาการปีแห่งการส่งเสริมการบริการประชาชนของรัฐ. กรุงเทพฯ: สำนักนายกรัฐมนตรี คณะกรรมการปฏิรูประบบราชการ.
- อาจารย์ทองพันชั่ง พงษ์วารินทร์. (2561). Easy 7QC Tools เครื่องมือที่ 6 แผนภูมิการกระจาย (Scatter Diagram). Retrieved from <http://www.bt-training.com/index.php?lay=show&ac=article&id=539886514&Ntype=1>





ประวัติผู้เขียน

| | |
|-------------------|--|
| ชื่อ-สกุล | นางสาวกุลธิดา สุขสมบูรณ์ |
| วัน เดือน ปี เกิด | 18 กุมภาพันธ์ 2528 |
| สถานที่เกิด | กรุงเทพฯ |
| วุฒิการศึกษา | พ.ศ. 2550 วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล พ.ศ. 2552 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม หลักสูตรนานาชาติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| ที่อยู่ปัจจุบัน | 40/226 หมู่ 5 ซอยหมอศรี ถนนเพชรเกษม ตำบลไร่ขิง อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม 73210 |

